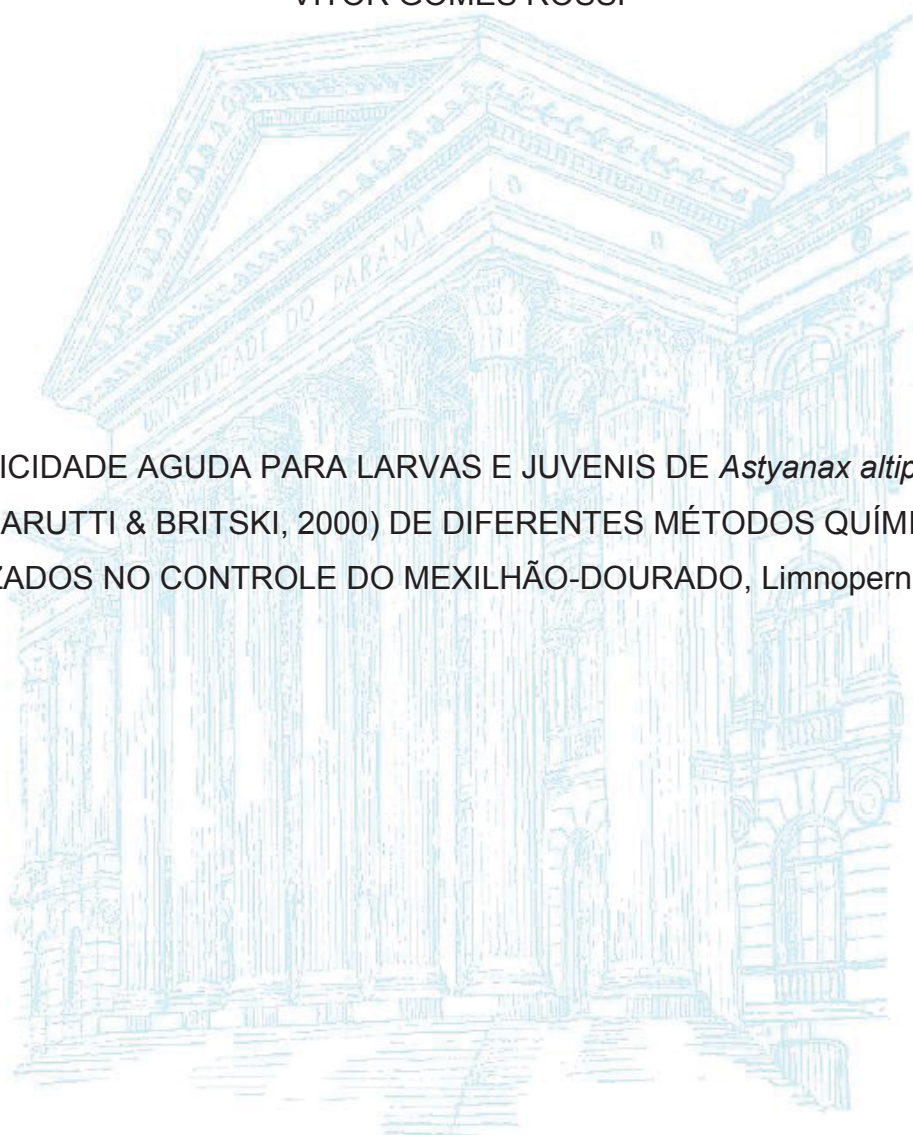


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VITOR GOMES ROSSI

TOXICIDADE AGUDA PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae*  
(GARUTTI & BRITSKI, 2000) DE DIFERENTES MÉTODOS QUÍMICOS  
UTILIZADOS NO CONTROLE DO MEXILHÃO-DOURADO, *Limnoperna fortunei*



CURITIBA

2018

VITOR GOMES ROSSI

TOXICIDADE AGUDA PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae*  
(GARUTTI & BRITSKI, 2000) DE DIFERENTES MÉTODOS QUÍMICOS  
UTILIZADOS NO CONTROLE DO MEXILHÃO-DOURADO, *Limnoperna fortunei*

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná, setor de Ciências Agrárias, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Ostrensky Neto

CURITIBA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR -  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, DOUGLAS ALEX JANKOSKI CRB 9/1167  
COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

R831t

Rossi, Vitor Gomes

Toxicidade aguda para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* (Garutti & Britski, 2000) de diferentes métodos químicos utilizados no controle do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* / Vitor Gomes Rossi. - Curitiba, 2018.

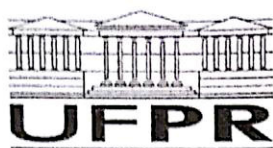
136 f.: tabs., grafs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Orientador: Antonio Ostrensky Neto

1. Mexilhão. 2. *Astyanax* (Peixe). 3. Usina hidrelétrica. 4. Toxicidade aguda. 5. Hidróxido de sódio. I. Ostrensky Neto, Antonio. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDU 594.141



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **VITOR GOMES ROSSI** intitulada: **"TOXICIDADE AGUDA PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae* (GARUTTI & BRITSKI, 2000) DE DIFERENTES MÉTODOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO CONTROLE DO MEXILHÃO DOURADO, *Limnoperna fortunei***, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Maio de 2018.



ANTÔNIO OSTRENSKY NETO  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



GISELA GERALDINE CASTILHO WESTPHAL  
Avaliador Externo (UFPR)



GEORGI DAL PONT  
Avaliador Externo (UFPR)

Toda e qualquer letra e ação desta dissertação  
é dedicada ao meu irmão, Mateus.

## **AGRADECIMENTOS**

Entendo que muitos que decidem por fazer uma pós-graduação fatalmente possuem um orientador. Não foi o meu caso. Fui, sou e serei grato ao Antonio Ostrensky não pelos momentos que ele me orientou, mas sim pelos momentos em que me deixou desorientado. Neles fui capaz de compreender o que estava executando, os motivos, os meios necessários e também que um mestrado não cabe em nenhum laboratório, sala de aula ou programa de pós-graduação.

Agradeço ao meu pai e a minha mamacita, responsáveis diretos não só por minha existência física, mas eternos incentivadores, mantenedores e apoiadores dela. Amo vocês.

Minha companheira de recinto, sofrências, alegrias e também amiga incondicional: Nathieli Cozer.

À Debora Pestana, pelo carinho e suporte, em suas mil formas, demonstrados de maneira velada ou explícita.

Ao Senhores Antonio, Fábio e Murilo, funcionários que muitos se referem como porteiros, mas que foram além disso, eles que abriram as portas e sempre gentilmente permitiram a minha passagem. Muitas vezes com um gesto ou frase de incentivo, vocês são mestres.

À todas as pessoas que trabalham e trabalharam fazendo a manutenção do espaço físico onde trabalhei, em especial à Sabrina e a Gisele, sensíveis à minha rotina de trabalho e a dos meus colegas, sempre muito afáveis comigo.

Não irei nominar mais ninguém para não cair nas armadilhas da minha própria memória, entretanto, sei que cada um sabe dos meus intensos sentimentos de gratidão por cada um deles:

Aos companheiros e companheiras de trabalho do GIA, que ainda pertencem ou que pertenceram a este laboratório em algum momento da minha passagem.

A todos os amigos e amigas espalhados pelo Brasil e pelo planeta afora, e digo isso não por arrogância, mas porquê, felizmente, seguiram rumos muito distintos, sendo atualmente felizes em vários estados e países desse mundão! Alguns já não

posso mais dizer que são amigos, e sim membros da minha família que apenas nasceram vinculados a outros sobrenomes.

Aos meus familiares, em São Paulo, Minas Gerais, Paraná, França. Em especial ao meu tio, o menor em relação a mim, na distância física e na altura!

*“O ‘se’ não projeta, o ‘se’ não executa, o ‘se’ não modifica, o ‘se’ não movimenta, o ‘se’ não pensa e nem faz pensar, o ‘se’ não ama, o ‘se’ não existe! A não ser que...”*

**Autor anônimo**



## RESUMO

As bioincrustações causadas por moluscos bivalves invasores têm afetado os sistemas de resfriamento, e, conseqüentemente, o funcionamento geral das usinas hidrelétricas em todo o mundo, alterando a rotina operacional das mesmas e aumentando os custos com manutenção. Na América do Sul, a principal espécie responsável por essas bioincrustações é o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), que teve sua primeira presença constatada nas bacias hidrográficas da região sul deste continente em 1990, espalhando-se rapidamente. Justamente em detrimento desta alta velocidade de invasão do *L. fortunei*, surgiu-se a necessidade emergencial de controle deste organismo. Para tal, preteriu-se a utilização de métodos químicos, que, tendo em vista o cenário descrito, tiveram o seu impacto sobre os peixes nativos rasamente avaliados. O presente estudo objetivou analisar a toxicidade aguda de 3 desses diferentes métodos, utilizados no controle do *L. fortunei* em usinas hidrelétricas, para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae*, com o intuito de avaliar os possíveis impactos desses métodos sobre a ictiofauna dos rios que permeiam essas usinas. A dinâmica de exposição aos distintos métodos químicos baseou-se na natureza das substâncias envolvidas e dentro das condições estabelecidas pela legislação brasileira vigente. Todos os experimentos tiveram duração de 96 h e foram conduzidos em ambiente laboratorial controlado. O *A. altiparanae*, tanto em sua fase larval quanto juvenil, não demonstrou-se muito sensível a nenhum dos 3 métodos químicos avaliados. Constatou-se, portanto, a partir dos dados coletados, que a utilização desses métodos, se for feita em conformidade com o que é exigido pela legislação e em condições normais de operação, não apresenta potencial para causar impacto sobre a ictiofauna nativa de forma aguda.

**Palavras-chaves:** CL<sub>50</sub>, hidróxido de sódio, MXD-100, dicloroisocianurato de sódio, cloro residual livre.

## ABSTRACT

Biofouling caused by invasive bivalve molluscs has affected cooling systems, impacting the overall functioning of hydroelectric power plants worldwide, altering their operational routine and increasing their maintenance costs. In South America, the main species responsible for these biofouling is the *Limnoperna fortunei* (golden mussel), which had his presence first detected in the watersheds of the southern region of this continent in 1990, spreading rapidly. Mainly due this high rate of invasion of the *L. fortunei*, it became necessary an emergency approach in order to control this organism. To this end, the use of chemical methods was preferred. Considering the described scenario, their impacts on the native fishes had been poorly evaluated. The present study aimed to analyze the acute toxicity of 3 of these different methods used to control of *L. fortunei* in hydroelectric power plants, for larvae and juveniles of *Astyanax altiparanae*, in order to evaluate the possible impacts of these methods on the ichthyofauna of the rivers that permeate these industrial installations. The dynamics of exposure to those different chemical methods were based on the nature of the substances involved and following the conditions established by the brazilian legislation. All experiments lasted 96 hours and were conducted in a controlled laboratory environment. *A. altiparanae*, both in its larval and juvenile stages, was not very sensitive to any of the 3 chemical methods evaluated. Therefore, it was found, concerning the collected data, that the use of these methods, if done in accordance with what is required by the legislation and under normal operating conditions, does not shown potential to impact the native ichthyofauna acutely.

**Keywords:** LC<sub>50</sub>, sodium hydroxide, MXD-100, sodium dichloroisocyanurate, free residual chlorine.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - CL <sub>50</sub> dos distintos meios alcalinos para larvas e juvenis de <i>A. altiparanae</i> nos diferentes períodos de exposição. ....	41
Figura 2 - CL <sub>50</sub> do MXD-100 para larvas de <i>A. altiparanae</i> nos diferentes períodos de exposição. ....	61
Figura 3 - CL <sub>50</sub> do MXD-100 para juvenis de <i>A. altiparanae</i> nos diferentes períodos de exposição. ....	62
Figura 4 - Curva de decaimento do cloro residual livre na água dos aquários. ....	92
Figura 5 - Curva de decaimento do cloro residual livre na água nas placas de cultivo. ....	93
Figura 6 - CL <sub>50</sub> do cloro livre para larvas e juvenis de <i>A. altiparanae</i> nos diferentes períodos de exposição. ....	93
Figura 7 - CL <sub>50</sub> do cloro livre para juvenis de <i>A. altiparanae</i> nos diferentes períodos de exposição. ....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média e desvio padrão das variáveis abióticas da água dos diferentes tratamentos com larvas. ....	40
Tabela 2: Média e desvio padrão das variáveis abióticas da água dos diferentes tratamentos com juvenis. ....	40
Tabela 3: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com larvas. ....	60
Tabela 4: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com juvenis.....	60
Tabela 5 - Resultados dos diferentes experimentos em peixes que avaliaram a toxicidade aguda do MXD-100 e dos quaternários de amônia presentes neste produto. ....	66
Tabela 6: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com larvas. ....	91
Tabela 7: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com juvenis.....	91

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	16
REFERÊNCIAS.....	22
CAPÍTULO I – TOXICIDADE AGUDA DO PH ALCALINO PARA LARVAS E JUVENIS DE <i>Astyanax altiparanae</i> EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS .....	
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
INTRODUÇÃO .....	32
MATERIAL E MÉTODOS .....	35
Obtenção das larvas .....	35
Experimento piloto com larvas .....	35
Exposição das larvas ao pH alcalino.....	35
Obtenção e aclimação dos juvenis.....	36
Exposição dos juvenis ao pH alcalino .....	38
Experimento piloto com juvenis.....	37
Análises estatísticas.....	39
RESULTADOS.....	40
Variáveis abióticas da água.....	40
CL <sub>50</sub> para larvas e juvenis .....	41
DISCUSSÃO .....	42
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO II – TOXICIDADE AGUDA DO MOLUSCICIDA MXD-100 PARA LARVAS E JUVENIS DE <i>Astyanax altiparanae</i> EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS .....	
RESUMO.....	52

<b>ABSTRACT.....</b>	<b>53</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
Obtenção das larvas e juvenis .....	56
Experimentos piloto com larvas e juvenis .....	56
Exposição das larvas ao MXD-100 .....	57
Aclimação dos juvenis .....	57
Exposição dos juvenis ao MXD-100 .....	58
Análises estatísticas .....	59
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
Variáveis abióticas da água.....	60
CL <sub>50</sub> para larvas e juvenis .....	61
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>70</b>
 <b>CAPÍTULO III – TOXICIDADE AGUDA DO CLORO RESIDUAL LIVRE PARA LARVAS E JUVENIS DE <i>Astyanax altiparanae</i> EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS .....</b>	 <b>81</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>81</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>82</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>86</b>
Obtenção das larvas e juvenis .....	86
Experimentos piloto com larvas e juvenis .....	86
Exposição das larvas ao cloro residual livre.....	87
Aclimação dos juvenis .....	88
Exposição de juvenis ao cloro residual livre .....	89

Determinação da taxa média de decaimento do cloro residual livre nas unidades experimentais .....	89
Análises estatísticas .....	90
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>91</b>
Variáveis abióticas da água .....	91
Taxa média de eliminação do cloro residual livre da água das unidades experimentais .....	92
CL <sub>50</sub> para larvas e juvenis .....	93
<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>98</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>106</b>

## INTRODUÇÃO

A energia elétrica é vital para a sociedade moderna e, desde a sua descoberta no século 17, tem sido a base para o crescimento e desenvolvimento de praticamente todas as atividades humanas (TAINTER, 1988; MUNASINGHE, 2002; EXPÓSITO *et al.*, 2016). Com o inevitável e constante crescimento da população mundial, a demanda por eletricidade aumenta cada vez mais. Segundo dados da International Agency Energy (IEA, 2017), a produção de energia elétrica aumentou de 6.287 TWh/ano em 1974 para 24.345 TWh/ano em 2015, levando à necessidade de se construir novas estruturas, a melhorar a eficiência das já existentes e a buscar alternativas que visem cobrir este aumento no consumo de energia elétrica (DRESSELHAUS e THOMAS, 2001; JEBARAJ e INIYAN, 2006; NEHRIR *et al.*, 2011; CHU e MAJUMDAR, 2012; HODGE, 2017).

A produção de eletricidade pode ser classificada em dois grupos de acordo com os recursos utilizados neste processo: energias não-renováveis, que utilizam como fonte combustíveis fósseis ou nucleares (ASIF e MUNEER, 2007; MENYAH e WOLDE-RUFAEL, 2010; GHORASHI e RAHIMI, 2011) e energias renováveis, que geram eletricidade a partir de recursos que são naturalmente reabastecidos, sendo as principais: energias eólica, solar, hidráulica e geotérmica (MENEGAKI, 2008; BANOS *et al.*, 2011; SOLANGI *et al.*, 2011; TWIDELL e WEIR, 2015).

A geração de energia elétrica a partir de fontes não-renováveis é responsável por cerca de 83%, da matriz energética elétrica mundial (IEA, 2017), sendo a América do Sul o continente que destoa deste cenário, pois 66% da matriz energética elétrica é proveniente de fontes renováveis (MME, 2016). Apesar de sua visível importância energética e econômica, a produção de energia elétrica via fontes não-renováveis tem diminuído nos últimos anos (JANULIS, 2004; EVANS *et al.*, 2009; AKELLA e DAS, 2017). Somente entre 2015 e 2016, houve um decréscimo de 9% na geração elétrica não-renovável, sendo que essa tendência já havia sido registrada nos 4 anos anteriores (IEA, 2017).

Vários fatores ajudam a compreender o fenômeno. O mais primário deles é a própria disponibilidade dos recursos não-renováveis, que, naturalmente, tendem a se reduzir ao longo do tempo (SZARGUT, 1978; GLAVIČ e LUKMAN, 2007). Há que se considerar que esses recursos também não estão distribuídos de forma uniforme por



todo o planeta, e suas reservas estão concentradas em determinadas regiões (CHOW *et al.*, 2003; DEMIRBAS, 2008; CHEN e WU, 2017; DUSASTRE e MARTIRADONNA, 2017). A produção de petróleo, por exemplo, é dominada pelos 12 países pertencentes à Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), o que faz com que este grupo tenha poder de definição sobre a disponibilidade e preço deste recurso (MEHRARA, 2007; WÄLDE, 2009), gerando uma dependência dos demais países e à complexas problemáticas que abrangem o campo político (MASON, 2012), econômico (DESTA, 2003) e, em muitas vezes, levando até a confrontos bélicos (HIRO, 1989; LE BILLON, 2001; BANNON e COLLIER, 2003; ROSS, 2012).

Outro fator de grande relevância que contribui para diminuição do uso de fontes não-renováveis envolve os impactos ambientais que a geração de eletricidade pode ocasionar (DINCER, 1999; DA SILVA *et al.*, 2003; DOS REIS, 2015). A emissão de gases poluentes, provenientes da queima dos combustíveis fósseis, por exemplo, promove a diminuição da qualidade do ar e também o aumento médio da temperatura atmosférica global (CHANGE, 2007; JACOBSON, 2009; MENYAH e WOLDE-RUFAEL, 2010; PLEVIN *et al.*, 2017). Diversos processos desta cadeia produtiva, tais como: extração (RASHAD e HAMMAD, 2000), transporte (BARTON, 2004), armazenamento (NORDHAUS *et al.*, 1973) e operação (HIRSCH *et al.*, 2005), apresentam riscos intrínsecos envolvidos. Variados são os acidentes já ocorridos com extravasamento de combustíveis fósseis para o meio ambiente (BOEHM *et al.*, 1982; PETERSON *et al.*, 2003; ABDANUR, 2005; CHANG e LIN, 2006; WHITE *et al.*, 2012), bem como a contaminação ambiental por material radioativo proveniente de usinas nucleares devido a distintos motivos (CAMBRAY *et al.*, 1987; DANILA, 2000; MATSUMURA, 2006; HOLT *et al.*, 2012).

Com isso, a produção de energia elétrica a partir da utilização de fontes renováveis tem sido cada vez mais fomentada ao redor do mundo (ELLABBAN *et al.*, 2014; TWIDELL e WEIR, 2015; QUASCHNING, 2016; CHU *et al.*, 2017). Das variadas alternativas já existentes e também daquelas em desenvolvimento, a geração de energia elétrica a partir de forças hidráulicas destaca-se como a mais relevante em termos de volume de produção. Segundo dados da IEA, de toda a eletricidade produzida via fontes renováveis no mundo, cerca de 73% advém de hidrelétricas (IEA, 2017). Além disto, estes mesmos dados, em conjunto com outros fornecidos pela International Hydropower Association (IHA), demonstram que a geração de energia

hidrelétrica ao redor do globo tem potencial para produzir aproximadamente 4 vezes mais TWh do que ocorre atualmente (IEA, 2017; IHA, 2017).

Entretanto, assim como as demais formas de produção de energia elétrica, a hidroeletricidade também apresenta problemas e impactos, como alto custo de implementação (EGRÉ e MILEWSKI, 2002); o barramento de corpos d'água com consequente alagamento de extensas áreas (MOREIRA e POOLE, 1993); a necessidade de deslocamento das populações ribeirinhas, a alteração de fluxos hídricos (ABBASI e ABBASI, 2000; PANWAR *et al.*, 2011), além de uma série de outros impactos sociais e econômicos (DINCER, 2000; KOIFMAN, 2001; FREY e LINKE, 2002). Somado a esses entraves, há ainda o fato de que as usinas hidrelétricas estão sempre sujeitas às oscilações naturais dos volumes dos rios, o que pode afetar sua capacidade de geração de energia (MÜLLER, 1996; BEAUDIN *et al.*, 2010).

Todos esses fatores anteriormente citados, de forma direta ou indireta, refletem-se em custos de manutenção e operação para as empresas geradoras ou transmissoras de energia e, logicamente, para os consumidores (DE SANTANA e DE OLIVEIRA, 1999; GOLDEMBERG e MOREIRA, 2005). Somente no Brasil, segundo dados das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), foram investidos mais de R\$ 4 bilhões na geração, manutenção e distribuição de energia elétrica proveniente das principais usinas do território nacional. Deste montante, ao menos 30% foram custos relacionados com a operação e manutenção dessas usinas (ELETROBRAS, 2016). Estes custos envolveram, basicamente, o pagamento dos funcionários, o custeio dos equipamentos e as substâncias utilizadas em todos esses processos de manutenção, sejam eles corretivos ou preventivos, e de operação (FERREIRA, 2000; CERBASI, 2003).

Variados são os fatores que podem interferir na manutenção e na operação de uma usina hidrelétrica: falhas humanas e mecânicas (NOYES, 1980; DORJI e GHOMASHCHI, 2014), a necessidade de garantir a demanda por energia elétrica das regiões que são abastecidas pelas usinas (KISHOR *et al.*, 2007), oscilações no volume de água das barragens das usinas (WOOD e WOLLENBERG, 2012) e ocorrência de incrustações que afetam as tubulações dessas usinas, desgastando-as ou ocluindo-as. Tais incrustações podem ser relacionadas à composição físico-química da água utilizada em toda a usina ou ser causadas por organismos vivos,

sendo, nestes casos, denominadas bioincrustações (JENNER *et al.*, 1998; FLEMMING, 2002).

Os moluscos bivalves ocupam posição de destaque entre os organismos bioincrustantes, principalmente os dos gêneros *Corbicula* sp. (MATTICE, 1977), *Perna* sp. (RAJAGOPAL *et al.*, 2006), *Limnoperna* sp. (DARRIGRAN e EZCURRA DE DRAGO, 2000) e *Dreissena* sp. (MACISAAC, 1996). Apenas nos Estados Unidos, os gastos com o controle de *Dreissena polymorpha* (mexilhão-zebra) foram estimados em US\$ 277.000.000 no período entre 1989 e 2004 (CONNELLY *et al.*, 2007).

Na América do Sul, e particularmente no Brasil, o molusco bivalve que mais tem ocasionado impactos ambientais e econômicos nas usinas hidrelétricas é o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) (BARBOSA, 2009; BORGES, 2014). Essa espécie é oriunda de rios do sudeste da China e invadiu o continente sul americano por volta de 1990, transportada através da água de lastro de navios comerciais que desembarcavam nos portos do estuário do Rio da Prata. Já em 1999 ela teve os seus primeiros registros relatados em território nacional, no lago Guaíba (DARRIGRAN e EZCURRA DE DRAGO, 2000), tendo a sua presença atualmente já documentada em 8 dos 27 estados brasileiros (BARBOSA *et al.*, 2016).

Estima-se que a velocidade de dispersão da espécie seja de até 240 km/ano (BORGES, 2014). Essa facilidade e a eficiência na dispersão de *L. fortunei* é potencializada pela junção de vários fatores, dois deles relacionados a características biológicas da espécie: possuir uma fase larval de vida livre e uma estrutura específica de fixação a diversos substratos quando adultos (o bisso). Os outros aspectos são ligados à atividades humanas: o aumento frequente no trânsito de embarcações entre diferentes bacias hidrográficas; a construção de barragens e reservatórios; e a intensificação no comércio marítimo continental (BOLTOVSKOY, 2015a). Todos esses aspectos relacionados ao homem estão atualmente presentes tanto no continente sul americano como um todo, quanto no Brasil, o que contribuiu para que essa espécie rapidamente começasse a causar danos nas usinas hidrelétricas presentes no sul do território nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Na tentativa de controle das incrustações causadas por organismos como *L. fortunei* em instalações hidráulicas diversos métodos físicos e químicos são passíveis de serem utilizados. Os métodos físicos consistem em: remoção manual ou mecânica (MONTALTO, 2015), controle de temperatura (PEREPELIZIN e BOLTOVSKOY,

2015b), uso de filtros fixos e móveis (XU *et al.*, 2015), correntes elétricas, luz UV (PENAFORTE, 2014), anóxia ou hipóxia (PEREPELIZIN e BOLTOVSKOY, 2015a) e aumento da velocidade da corrente de água (ZHANG *et al.*, 2017). Os métodos químicos envolvem o uso de: hidróxido de sódio (NaOH) (BOLTOVSKOY *et al.*, 2015), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) (PENAFORTE, 2014), cloro e seus derivados (BOLTOVSKOY, 2015b), quaternários de amônia (MÄDER-NETTO, 2011), sais de potássio (CATALDO *et al.*, 2002), e tintas antiincrustantes (MATSUI *et al.*, 2002).

Na prática, os métodos químicos são os mais comumente utilizados, principalmente por serem mais baratos e também de mais fácil aplicação nas estruturas e equipamentos de usinas hidrelétricas (CLAUDI e DE OLIVEIRA, 2015). Entre os métodos químicos, o uso do cloro e do hidróxido de sódio destacam-se, por serem substâncias que já se demonstraram eficientes no controle do *L. fortunei*, possuem fácil disponibilidade e baixo custo. No Brasil, em particular, um produto à base de sais quaternários de amônia (MXD-100, produzido pela Maxclean Ambiental e Química S.A, Brasil) também é amplamente utilizado para este fim. O MXD-100 teve o seu registro concedido para uso em território nacional em caráter emergencial, com prazo de validade estabelecido (MÄDER-NETTO, 2011).

Por outro lado, apesar desses 3 métodos químicos serem largamente empregados no controle das incrustações causadas por *L. fortunei* em usinas hidrelétricas no Brasil, pouco ainda se investigou sobre os seus possíveis impactos sobre a ictiofauna nativa.

Na presente dissertação é estudada a toxicidade aguda do dicloroisocianurato de sódio, do hidróxido de sódio e do MXD-100 para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* (o lambari-do-rabo-amarelo), em condições laboratoriais.

Esse é um peixe da família Characidae, autóctone da Bacia do Rio Paraná que possui características biológicas desejáveis para ser utilizado como bioindicador em ensaios laboratoriais, dentre elas: apresenta pequeno porte, hábito alimentar flexível, curto ciclo reprodutivo e pode ter a sua reprodução induzida em condições laboratoriais (ORSI *et al.*, 2004; CASTILHO-ALMEIDA, 2007). O *A. altiparanae* já tem sido utilizado como bioindicador em inúmeros outros estudos toxicológicos conduzidos em laboratório (RAMSDORF, 2007; GALVAN, 2011; DAL PONT, 2012; MATOZO *et al.*, 2015).

A dissertação foi estruturada em 3 capítulos:

- **Capítulo I:** Toxicidade aguda do pH alcalino para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* em condições laboratoriais;
- **Capítulo II:** Toxicidade aguda do moluscicida MXD-100 para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* em condições laboratoriais;
- **Capítulo III:** Toxicidade aguda do cloro residual livre para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* em condições laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, S. A.; ABBASI, N. The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. **Applied Energy**, v. 65, n. 1, p. 121-144, 2000/04/01/ 2000. ISSN 0306-2619. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626199900077X> >.

ABDANUR, A. Remediação de solo e água subterrânea contaminados por hidrocarbonetos de petróleo: estudo de caso da refinaria Duque de Caxias/RJ. 2005.

AKELLA, A. K.; DAS, S. Technical and Socio-Economic Aspects of Hybrid Renewable Energy Sources: A Step-by-Step Approach. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 21, p. 11228-11241, 2017. ISSN 0973-4562.

ASIF, M.; MUNEER, T. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 7, p. 1388-1413, 2007. ISSN 1364-0321.

BANNON, I.; COLLIER, P. **Natural resources and violent conflict: Options and actions**. World Bank publications, 2003. ISBN 0821355031.

BANOS, R. et al. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 1753-1766, 2011. ISSN 1364-0321.

BARBOSA, F. G. Invasões Biológicas e o *Limnoperna fortunei*. **Revista Eletrônica de Biologia (REB)**. ISSN 1983-7682, v. 1, n. 4, p. 31-45, 2009. ISSN 1983-7682.

BARBOSA, N. P. et al. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)(Mollusca, Bivalvia, Mytilidae): first record in the São Francisco River basin, Brazil. **Check List**, v. 12, n. 1, p. 1846, 2016. ISSN 1809-127X.

BARTON, B. **Energy security: managing risk in a dynamic legal and regulatory environment**. Oxford University Press on Demand, 2004. ISBN 0199271615.

BEAUDIN, M. et al. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review. **Energy for sustainable development**, v. 14, n. 4, p. 302-314, 2010. ISSN 0973-0826.

BOEHM, P. D. et al. Physical-chemical weathering of petroleum hydrocarbons from the IXTOC I blowout: Chemical measurements and a weathering model. **Environmental Science & Technology**, v. 16, n. 8, p. 498-505, 1982. ISSN 0013-936X.

BOLTOVSKOY, D. Distribution and colonization of *Limnoperna fortunei*: special traits of an odd mussel. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015a. p.301-311.

\_\_\_\_\_. **Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel.** Springer, 2015b. ISBN 3319134949.

BOLTOVSKOY, D.; XU, M.; NAKANO, D. Impacts of *Limnoperna fortunei* on man-made structures and control strategies: general overview. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.375-393.

BORGES, P. D. *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) e o setor elétrico brasileiro: distribuição, impactos, estudo de caso da dispersão no Rio Iguaçu e teste de protocolo de uso de larvas na caracterização do perfil genético de populações. 2014.

CAMBRAY, R. S. et al. Observations on radioactivity from the Chernobyl accident. **Nucl. Energy**, v. 26, n. 2, p. 77-101, 1987.

CASTILHO-ALMEIDA, R. *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) como modelo biológico de espécie de peixe para exploração zootécnica e biomanipulação. **Botucatu: Universidade Estadual Paulista**, 2007.

CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D.; POSE, M. Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua. **Tercera Jornada sobre Conservación de la Fauna íctica en el Río Uruguayi**, 2002.

CERBASI, G. P. **Metodologias para determinação do valor das empresas: uma aplicação no setor de geração de energia hidrelétrica.** 2003. Universidade de São Paulo

CHANG, J. I.; LIN, C.-C. A study of storage tank accidents. **Journal of loss prevention in the process industries**, v. 19, n. 1, p. 51-59, 2006. ISSN 0950-4230.

CHANGE, I. C. Mitigation of climate change. **Summary for Policymakers**, v. 10, n. 5.4, 2007.

CHEN, G.; WU, X. Energy overview for globalized world economy: source, supply chain and sink. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 735-749, 2017. ISSN 1364-0321.

CHOW, J.; KOPP, R. J.; PORTNEY, P. R. Energy resources and global development. **Science**, v. 302, n. 5650, p. 1528-1531, 2003. ISSN 0036-8075.

CHU, S.; CUI, Y.; LIU, N. The path towards sustainable energy. **Nature materials**, v. 16, n. 1, p. 16, 2017. ISSN 1476-4660.

CHU, S.; MAJUMDAR, A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future. **nature**, v. 488, n. 7411, p. 294, 2012. ISSN 1476-4687.

CLAUDI, R.; DE OLIVEIRA, M. D. Chemical strategies for the control of the Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) in industrial facilities. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.417-441.



CONNELLY, N. A. et al. Economic impacts of zebra mussels on drinking water treatment and electric power generation facilities. **Environmental Management**, v. 40, n. 1, p. 105-112, 2007. ISSN 0364-152X.

DA SILVA, E. P. et al. **Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento: MultiCiência** 2003.

DAL PONT, G. **Toxicidade do óleo diesel para o peixe Astyanax Altiparanae**. 2012. 112 Dissertação (Mestrado). Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

DANILA, D. J. Estimating the abundance and egg production of spawning winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) in the Niantic River, CT for use in the assessment of impact at Millstone Nuclear Power Station. **Environmental Science & Policy**, v. 3, p. 459-469, 2000. ISSN 1462-9011.

DARRIGRAN, G.; EZCURRA DE DRAGO, I. **Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (*Bivalvia: Mytilidae*) in South America**. 2000. 69-73.

DE SANTANA, E. A.; DE OLIVEIRA, C. A. C. A economia dos custos de transação e a reforma na indústria de energia elétrica do Brasil. **BORENSTEIN, Carlos Raul et al**, 1999.

DEMIRBAS, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy conversion and management**, v. 49, n. 8, p. 2106-2116, 2008. ISSN 0196-8904.

DESTA, M. G. Organization of Petroleum Exporting Countries, the World Trade Organization, and Regional Trade Agreements, The. **J. World Trade**, v. 37, p. 523, 2003.

DINCER, I. Environmental impacts of energy. **Energy policy**, v. 27, n. 14, p. 845-854, 1999. ISSN 0301-4215.

\_\_\_\_\_. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 4, n. 2, p. 157-175, 2000. ISSN 1364-0321.

DORJI, U.; GHOMASHCHI, R. Hydro turbine failure mechanisms: An overview. **Engineering Failure Analysis**, v. 44, p. 136-147, 2014. ISSN 1350-6307.

DOS REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**. Editora Manole, 2015. ISBN 8520445616.

DRESSELHAUS, M.; THOMAS, I. Alternative energy technologies. **Nature**, v. 414, n. 6861, p. 332, 2001. ISSN 1476-4687.

DUSASTRE, V.; MARTIRADONNA, L. **Materials for sustainable energy**: Nature Publishing Group 2017.



EGRÉ, D.; MILEWSKI, J. C. The diversity of hydropower projects. **Energy Policy**, v. 30, n. 14, p. 1225-1230, 2002. ISSN 0301-4215.

ELETROBRAS, C. E. B. S. A. **Relatório Anual 2016**. Rio de Janeiro - RJ: Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS: 64 p. 2016.

ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 748-764, 2014. ISSN 1364-0321.

EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1082-1088, 2009/06/01/ 2009. ISSN 1364-0321. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108000555> >.

EXPÓSITO, A. G.; CONEJO, A. J.; CANIZARES, C. **Electric energy systems: analysis and operation**. CRC press, 2016. ISBN 1420007270.

FERREIRA, C. K. L. Privatização do setor elétrico no Brasil. 2000.

FLEMMING, H.-C. Biofouling in water systems—cases, causes and countermeasures. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 59, n. 6, p. 629-640, 2002. ISSN 0175-7598.

FREY, G. W.; LINKE, D. M. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. **Energy Policy**, v. 30, n. 14, p. 1261-1265, 2002/11/01/ 2002. ISSN 0301-4215. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421502000861> >.

GALVAN, G. L. Avaliação genotóxica de efluentes químicos de laboratórios de instituição de ensino e pesquisa utilizando como bioindicador o peixe *Astyanax altiparanae* (Characidae). 2011.

GHORASHI, A. H.; RAHIMI, A. Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 729-736, 2011. ISSN 1364-0321.

GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 18, p. 1875-1885, 2007. ISSN 0959-6526.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005. ISSN 1806-9592.

HIRO, D. **The longest war: the Iran-Iraq military conflict**. Psychology Press, 1989. ISBN 0415904072.

HIRSCH, R. L.; BEZDEK, R. M.; WENDLING, R. M. **Peaking of world oil production: impacts, mitigation, & risk management**. National Energy Technology Laboratory (NETL), Pittsburgh, PA, Morgantown, WV, and Albany, OR. 2005

HODGE, B. K. **Alternative energy systems and applications**. John Wiley & Sons, 2017. ISBN 1119109213.

HOLT, M.; CAMPBELL, R. J.; NIKITIN, M. B. **Fukushima nuclear disaster**. Congressional Research Service, 2012.

IEA, I. E. A. **ELECTRICITY INFORMATION: OVERVIEW 2017 EDITION**: International Energy Agency: 8 p. 2017.

IHA, I. H. A. **Hydropower Status Report**: International Hydropower Association: 84 p. 2017.

JACOBSON, M. Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. **Energy & Environmental Science**, v. 2, n. 2, p. 148-173, 2009.

JANULIS, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. **Renewable Energy**, v. 29, n. 6, p. 861-871, 2004/05/01/ 2004. ISSN 0960-1481. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148103003100> >.

JEBARAJ, S.; INIYAN, S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 4, p. 281-311, 2006. ISSN 1364-0321.

JENNER, H. A. et al. Cooling water management in European power stations Biology and control of fouling. **Hydroécologie Appliquée**, v. 10, p. 1-225, 1998. ISSN 1147-9213.

KISHOR, N.; SAINI, R.; SINGH, S. A review on hydropower plant models and control. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 5, p. 776-796, 2007. ISSN 1364-0321.

KOIFMAN, S. Geração e transmissão da energia elétrica: impacto sobre os povos indígenas no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 413-423, 2001. ISSN 0102-311X.

LE BILLON, P. The political ecology of war: natural resources and armed conflicts. **Political geography**, v. 20, n. 5, p. 561-584, 2001. ISSN 0962-6298.

MACISAAC, H. J. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. **American zoologist**, v. 36, n. 3, p. 287-299, 1996. ISSN 0003-1569.

MÄDER-NETTO, O. S. **Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. 2011. 113 Mestrado (Mestre). Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MASON, C. F. Organization of the Petroleum Exporting Countries. **The Wiley-Blackwell Encyclopedia of Globalization**, 2012. ISSN 0470670592.

MATOZO, F.; TUREK, J. A.; NOLETO, R. B. Avaliação dos efeitos genotóxicos do fungicida ridomil em *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes). **LUMINÁRIA**, v. 17, n. 01, 2015. ISSN 2359-4373.

MATSUI, Y. et al. Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*. **Biofouling**, v. 18, n. 2, p. 137-148, 2002. ISSN 0892-7014.

MATSUMURA, M. A case study of a pipe line burst in the Mihama Nuclear Power Plant. **Materials and Corrosion**, v. 57, n. 11, p. 872-882, 2006. ISSN 1521-4176.

MATTICE, J. **Interactions of Corbicula sp. with power plants**. Oak Ridge National Lab. 1977

MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. **Energy policy**, v. 35, n. 5, p. 2939-2945, 2007. ISSN 0301-4215.

MENEGAKI, A. Valuation for renewable energy: a comparative review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 9, p. 2422-2437, 2008. ISSN 1364-0321.

MENYAH, K.; WOLDE-RUFAEL, Y. CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. **Energy Policy**, v. 38, n. 6, p. 2911-2915, 2010. ISSN 0301-4215.

MME, M. D. M. E. E. D. B. **Energia na América do Sul: Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia - SPE/MME: 4 p.** 2016.

MONTALTO, L. Control of *Limnoperna fortunei* fouling by desiccation. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.455-461.

MOREIRA, J. R.; POOLE, A. D. Hydropower and its constraints. 1993.

MÜLLER, C. A. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. 1996.

MUNASINGHE, M. The sustainomics trans-disciplinary meta-framework for making development more sustainable: applications to energy issues. **International Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 1-2, p. 125-182, 2002. ISSN 0960-1406.

NEHRIR, M. et al. A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications. **IEEE transactions on sustainable energy**, v. 2, n. 4, p. 392-403, 2011. ISSN 1949-3029.

NORDHAUS, W. D.; HOUTHAKKER, H.; SOLOW, R. The allocation of energy resources. **Brookings papers on economic activity**, v. 1973, n. 3, p. 529-576, 1973. ISSN 0007-2303.

NOYES, R. Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility. 1980.

OLIVEIRA, M. D. et al. Colonization and spread of *Limnoperna fortunei* in South America. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.333-355.

ORSI, M. L.; CARVALHO, E. D.; FORESTI, F. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio rio Paranapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, p. 207-218, 2004. ISSN 0101-8175.

PANWAR, N.; KAUSHIK, S.; KOTHARI, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1513-1524, 2011. ISSN 1364-0321.

PENAFORTE, L. R. **INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, LIMNOPERNA FORTUNEI (DUNKER, 1857): IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS**. 2014. 65 Monografia (Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos). INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. Control of *Limnoperna fortunei* Fouling by oxygen deprivation. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015a. p.451-454.

\_\_\_\_\_. Control of *Limnoperna fortunei* fouling by thermal treatments. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015b. p.443-449.

PETERSON, C. H. et al. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. **Science**, v. 302, n. 5653, p. 2082-2086, 2003. ISSN 0036-8075.

PLEVIN, R. J.; DELUCCHI, M. A.; O'HARE, M. Fuel carbon intensity standards may not mitigate climate change. **Energy Policy**, v. 105, p. 93-97, 2017. ISSN 0301-4215.

QUASCHNING, V. **Understanding renewable energy systems**. Routledge, 2016. ISBN 1317669436.

RAJAGOPAL, S. et al. Greening of the coasts: a review of the *Perna viridis* success story. **Aquatic Ecology**, v. 40, n. 3, p. 273-297, 2006. ISSN 1386-2588.

RAMSDORF, W. Utilização de duas espécies de *Astyanax* (*Astyanax* sp B e A. *Altiparanae*) como bioindicadores de região contaminada por agrotóxico (Fazenda Canguiri-UFPR). 2007.

RASHAD, S.; HAMMAD, F. Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. **Applied Energy**, v. 65, n. 1-4, p. 211-229, 2000. ISSN 0306-2619.

ROSS, M. L. **The oil curse: how petroleum wealth shapes the development of nations**. Princeton University Press, 2012. ISBN 1400841925.

SOLANGI, K. H. et al. A review on global solar energy policy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2149-2163, 2011/05/01/ 2011. ISSN 1364-0321. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000220> >.

SZARGUT, J. Minimization of consumption of natural-resources. **BULLETIN DE L ACADEMIE POLONAISE DES SCIENCES-SERIE DES SCIENCES TECHNIQUES**, v. 26, n. 6, p. 41-45, 1978. ISSN 0001-4125.

TAINTER, J. **The collapse of complex societies**. Cambridge University Press, 1988. ISBN 052138673X.

TWIDELL, J.; WEIR, T. **Renewable energy resources**. Routledge, 2015. ISBN 1317660374.

WÄLDE, T. W. Organization of the Petroleum Exporting Countries. In: (Ed.). **Handbook of Transnational Economic Governance Regimes**: Brill, 2009. p.989-1008.

WHITE, H. K. et al. Impact of the Deepwater Horizon oil spill on a deep-water coral community in the Gulf of Mexico. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 50, p. 20303-20308, 2012. ISSN 0027-8424.

WOOD, A. J.; WOLLENBERG, B. F. **Power generation, operation, and control**. John Wiley & Sons, 2012. ISBN 111858595X.

XU, M. et al. Experimental study on control of *Limnoperna fortunei* biofouling in water transfer tunnels. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 9, n. 2, p. 248-258, 2015. ISSN 1570-6443.

ZHANG, C. et al. Experimental study on the effect of turbulence in pipelines on the mortality of *Limnoperna fortunei* veligers. **Ecological Engineering**, v. 109, p. 101-118, 2017. ISSN 0925-8574.

## **CAPÍTULO I – TOXICIDADE AGUDA DO pH ALCALINO PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae* EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS**

### **RESUMO**

A presença do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) nos sistemas de resfriamento das usinas hidrelétricas da América do Sul tem causado grandes prejuízos financeiros. Um dos métodos químicos de controle do mexilhão-dourado passível de ser utilizado é através da aplicação do hidróxido de sódio (NaOH), tornando o pH da água contida dentro das tubulações desses sistemas alcalino e afetando diretamente este organismo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade aguda da exposição à diferentes faixas de pH alcalino para larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae*. Foram realizados dois experimentos com duração de 96 h cada, sendo todos conduzidos em condições laboratoriais controladas. No experimento com juvenis, 10 peixes foram colocados em unidades experimentais de 4 L de volume útil e expostos constantemente aos pHs: 8,5, 9, 9,5 e 10. No experimento com larvas, os indivíduos foram colocados em placas de cultivo de 6 poços, com cada poço contendo 2 larvas e 10 mL de volume útil. Elas foram expostas continuamente aos pHs: 8,5, 9, 9,5, 10 e 10,5. Em ambos os experimentos havia um tratamento controle onde os animais permaneceram em pH próximo ao neutro (pH 7). A mortalidade era avaliada a cada 6 h para o cálculo da CL<sub>50</sub> a cada 24 h. Os juvenis apresentaram valores de CL<sub>50</sub> variando entre 10,1 (24 h) e 8,7 (96 h) e as larvas de 9,5 (24 h) a 8,4 (96 h).

**Palavras-chave:** CL<sub>50</sub>, hidróxido de sódio, alcalose metabólica, alcalinidade, CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The presence of the invasive mussel *Limnoperna fortunei* (golden mussel) in the cooling systems of the hydroelectric power plants of South America has caused great financial damages. One of the chemical methods of control of this mussel that can be used is through the application of sodium hydroxide (NaOH), making the pH of the water contained in the pipes of these system turns alkaline and directly affecting this organism. The objective of this work was to evaluate the acute toxicity of the exposure to different ranges of alkaline pH on larvae and juveniles of *Astyanax altiparanae*. Two experiments were carried out lasting 96 h each, all of them being conducted in controlled laboratory conditions. In the experiment with juveniles, 10 fishes were placed in experimental units containing a volume of 4 L each and constantly exposed to pHs: 8.5, 9, 9.5 and 10. In the experiment with larvae, they were placed in cell culture plate size 6 wells, each well containing 2 larvae and 10 ml of useful volume. They were continuously exposed to the pHs: 8.5, 9, 9.5, 10 and 10.5. In both experiments there was a control treatment where the animals remained at pH close to neutral. Mortality was recorded every 6 h for the calculation of LC<sub>50</sub> every 24 h. The juveniles presented LC<sub>50</sub> values ranging from 10.1 (24 h) to 8.7 (96 h) and larvae from 9.5 (24 h) to 8.4 (96 h).

**Keywords:** LC<sub>50</sub>, sodium hydroxide, metabolic alkalosis, alkalinity, CO<sub>2</sub>.



## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grandes dimensões continentais (8.514.876 Km<sup>2</sup>), o equivalente a 1,6% de toda a superfície do planeta, e conta com uma população de 207,7 milhões de habitantes (IBGE, 2018). Cerca de 85% da oferta de energia elétrica do país é proveniente de fontes renováveis. A principal delas é a hidroeletricidade, a partir da qual são gerados aproximadamente 92 mil MW/ano (MME, 2016).

Os custos operacionais das usinas hidrelétricas brasileiras - aqueles relacionados à manutenção das estruturas hidráulicas dos sistemas de resfriamento, que são responsáveis pela dissipação de parte do calor gerado durante o funcionamento de geradores, transformadores, motores de compressão e outros equipamentos - têm impactado cada vez mais as empresas geradoras de energia (MÄDER-NETTO, 2011). Eventuais falhas de manutenção dos sistemas de resfriamento têm potencial para causar prejuízos financeiros e econômicos muito maiores que os próprios custos de manutenção (SOUZA, 2008).

Nas usinas hidrelétricas (UHE) brasileiras, a presença do molusco invasor incrustante *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado), introduzido no país em 1999 (DARRIGRAN *et al.*, 1999) e já presente em pelo menos 8 dos 27 estados brasileiros (PESSOTTO e NOGUEIRA, 2018), tem sido um fator relevante para o aumento da frequência das operações de manutenção dos sistemas de resfriamento (AGUDO-PADRÓN, 2008; FELIX, 2011; MÄDER-NETTO, 2011) e, consequentemente, de aumento dos custos operacionais.

Esta espécie apresenta características biológicas que lhe conferem alta capacidade de dispersão e de incrustação, tais como: alta prolificidade, possuir fase larval planctônica e uma estrutura anatômica denominada de bisso, a partir das quais os organismos juvenis e adultos se fixam fortemente a diversos substratos (DARRIGRAN *et al.*, 1999; CATALDO *et al.*, 2005; PESTANA *et al.*, 2010), potencializando os danos causados aos sistemas hidráulicos.

Na tentativa de controle das bioincrustações provocadas pelo mexilhão-dourado, vários métodos químicos têm sido utilizados. Os mais comuns são: cloro gasoso, dióxido de cloro, dicloroisocianurato de sódio, MXD-100, hidróxido de sódio, ozônio, sulfato de cobre e pinturas antiincrustantes (GIORDANI *et al.*, 2005). Nenhum desses produtos é homologado em caráter definitivo pela legislação brasileira para



controle de *L. fortunei*, exceto dois (o dicloroisocianurato e o MXD-100) que possuem licença provisória para uso com essa finalidade (BRASIL, 2015). MÄDER-NETTO (2011), que estudou os efeitos desses dois produtos, além de um terceiro, o hidróxido de sódio, concluiu que este último apresentou os melhores resultados no controle das incrustações causadas por *L. fortunei* em instalações hidráulicas.

O hidróxido de sódio (NaOH), ou soda cáustica, é um produto esbranquiçado e deliquescente (BITTENCOUNT, 1977). Este composto caracteriza-se por ter como principal mecanismo de ação o aumento do pH local, alterando a atividade normal de organismos bioincrustantes (MONTRESOR; 2014). Por outro lado, o NaOH tem potencial para provocar impactos ambientais quando usado em grandes volumes em ambientes aquáticos.

Lições aprendidas em relação a tais impactos vêm, por exemplo, de acidentes ambientais, como o ocorrido em 2003, no rio Pomba, pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, na região Sudeste do Brasil. Na ocasião, o rompimento de um reservatório de dejetos químicos pertencente à Indústria Cataguases de Papel, provocou o despejo de cerca de 1,2 bilhão de litros de lixivia nesse rio. Os resíduos derramados apresentavam pH entre 8 e 9, fruto da elevada carga de NaOH presente originalmente nos efluentes industriais armazenados no reservatório (ALVES *et al.*, 2013). Segundo COSTA e PEDLOWSKY (2004), pelo menos 60 das 169 espécies de peixe catalogadas no rio Paraíba do Sul foram diretamente afetadas e comprometidas pelo desastre.

Nesse contexto, a utilização de bioindicadores aquáticos (espécies escolhidas por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros ambientais) se apresenta como uma das formas para avaliação dos possíveis impactos causados pelo lançamento accidental ou intencional de xenobiontes em ambientes naturais (AGUILAR IBARRA, 2005; ARIAS *et al.*, 2007; DAL PONT, 2012; LINS *et al.*, 2017).

Um desses bioindicadores é o *Astyanax altiparanae* (lambari-do-rabo-amarelo) (SANTOS, 2009; PIANCINI, 2013; BERTI *et al.*, 2015). Este organismo tem sido amplamente utilizado em experimentos envolvendo contaminação ambiental em ambientes aquáticos brasileiros por se tratar de uma espécie nativa, não-migratória e de grande importância comercial (RAMSDORF, 2007; GALVAN, 2011; DAL PONT, 2012). Além disso, apresentam produção artificial em escala comercial, hábito

alimentar flexível e idade de maturação sexual reduzida (PORTO-FORESTI *et al.*, 2005).

O objetivo deste trabalho foi testar os efeitos do pH sobre a sobrevivência de larvas e juvenis de *A. altiparanae* em meio alcalino em condições laboratoriais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Obtenção das larvas**

Indivíduos adultos de *A. altiparanae* foram selecionados de um banco de reprodutores mantidos no Laboratório de Pesquisa com Organismos Aquáticos (LAPOA), pertencente ao Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA) localizado em Curitiba, Paraná, Brasil. As larvas utilizadas nos experimentos foram obtidas a partir da reprodução induzida realizada no próprio laboratório. Para isso, foram utilizados ao todo 12 reprodutores (n = 4 fêmeas e 8 machos).

Para a indução hormonal, os animais receberam dose única de 1000 UI/kg de Gonadotrofina Coriônica Humana (HCG), em seguida, foram acondicionados em um tanque-rede de nylon (3 mm com malha de 1,5 x 1,5 cm), com dimensões de 25 x 25 x 20 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), previamente instalado dentro de um aquário, contendo uma bomba submersa (SB-2000, Sarlobetter, Brasil), filtros mecânicos e biológicos e aeração constante, até a liberação dos ovócitos e posterior fertilização. Após a eclosão dos embriões, as larvas foram transferidas, com uma pipeta de Pasteur, para placas de cultivo de 6 poços (Kasvi K12-006, China), onde foram submetidas aos diferentes tratamentos.

### **Experimento piloto com larvas**

Para a definição das faixas de pH a serem testadas, realizou-se um teste piloto. Neste, as larvas foram acondicionadas em placas de cultivo de 6 poços (Kasvi K12-006, China), na densidade de 2 larvas por poço. As placas foram mantidas em uma incubadora vertical tipo B.O.D. microprocessada (ADAMO, Brasil), com fotoperíodo de 12:12 h (luz:escuro) e temperatura ajustada para 25°C. Foram testados 5 tratamentos, sendo eles: pH 8,0, 8,5, 9,0, 9,5 e 10,0. Cada tratamento era composto por 3 placas de cultivo, totalizando 18 repetições. As larvas eram observadas a cada 24 horas durante 96 horas. Constatou-se a presença de poucas ou de nenhuma larva morta nos tratamentos testados. Decidiu-se, portanto, utilizar no teste definitivo um pH mais alcalino e eliminar o tratamento com pH próximo à 8,0.

### **Exposição das larvas ao pH alcalino**

As larvas foram submetidas a 6 tratamentos diferentes, além de um grupo controle (composto apenas por água do sistema). Também foi utilizado um grupo

branco (sem a presença de larvas, apenas para estimação da variação natural do pH no tratamento controle). Cada tratamento foi composto por 3 placas de 6 poços cada, totalizando 18 repetições por tratamento, com densidade de duas larvas por poço. As placas eram mantidas nas mesmas condições ambientais descritas no experimento piloto. Os tratamentos testados foram: pH 8,5, 9,0, 9,5, 10,0 e 10,5. Os valores desejados de pH foram alcançados a partir da diluição de NaOH em água da rede de abastecimento público previamente armazenada em caixas de 100 L, na presença de aeração constante e temperatura a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ . Em função da capacidade tamponante da água, foi necessária a diluição prévia de NaOH até que o pH da água de cada tanque de armazenamento se estabilizasse próximo aos valores previamente determinados.

O experimento teve duração de 96 horas, sendo dividido em 5 períodos: hora zero, 24, 48, 72 e 96 h. A avaliação da mortalidade das larvas era feita a cada período de 24 h, sendo constatada a morte através do aspecto geral dos animais e da ausência de resposta ao toque por 15 segundos. Diariamente, era feita a renovação de 80% do volume de água de cada um dos poços. Este volume era repostado com água reservada e previamente estabilizada no pH desejado.

As seguintes variáveis abióticas da água foram monitoradas diariamente: pH (phmetro digital (HORIBA LAQUAtwin B-713, Japão)); temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) e oxigênio dissolvido (mg/L) (oxímetro digital (YSI Pro20, EUA)); alcalinidade e concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mensurada por titulometria com Ácido Sulfúrico a 0,02 N e hidróxido de sódio 0,02 N, respectivamente (APHA, 2005a); concentração de amônia total [ $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ] obtida pelo método do indofenol (APHA., 2005) e nitrito (APHA, 1995). As análises colorimétricas da amônia total e do nitrito foram realizadas em espectrofotômetro de bancada (Spectronic 20 Genesys, EUA).

### **Obtenção e aclimação dos juvenis**

Mil exemplares de *A. altiparanae* na fase juvenil de desenvolvimento foram adquiridos na Central de Abastecimento do Paraná (CEASA), localizada em Curitiba, no estado do Paraná, Brasil. Os animais foram transportados em sacos plásticos, contendo água e oxigênio até o LAPOA.

Em laboratório, os animais foram separados em dois grupos de 500 indivíduos e distribuídos em dois tanques plásticos com volume útil de 800 L, posicionados em

uma estufa agrícola, dotada de sistema de controle de temperatura, filtro biológico e recirculação de água, para a manutenção da qualidade das variáveis abióticas. Deste lote de peixes, foram coletados ao acaso 25 indivíduos para a análise biométrica inicial, mensurando-se seu peso total ( $1,66 \pm 0,66$  g), em uma balança digital (BEL Engineering S4202, Itália) e o comprimento total ( $3,9 \pm 0,41$  cm), com um paquímetro universal 200 mm (Vonder, Brasil). Os peixes foram mantidos nestes tanques e alimentados *ad libitum*, com ração comercial extrusada (Kowalski, Brasil), contendo 38% de proteína bruta.

Após 10 dias de aclimação, 250 animais foram transferidos para uma sala de experimento, onde passaram por mais 3 fases de aclimação antes do início do experimento. Na primeira fase (7 dias), os peixes foram separados em dois grupos e acondicionados em dois tanques com volume individual útil de 80 L. O fotoperíodo foi ajustado em 12:12 h (claro: escuro). Cada grupo de animais foi alimentado, *ad libitum*, com a mesma ração comercial anteriormente utilizada. Diariamente, 50% do volume de água de cada tanque foi renovado. Diariamente, 50% do volume de água de cada tanque era renovado.

Posteriormente, na segunda fase de aclimação (dois dias), os peixes eram transferidos para 4 aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 14 L. A temperatura foi mantida em 24°C. O manejo nutricional, alimentar e de manutenção foram os mesmos da fase anterior de aclimação.

Na terceira fase (dois dias), os animais foram distribuídos em aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 4 L idênticos aos das unidades experimentais. Cada aquário recebeu 10 peixes, que foram mantidos nas mesmas condições da fase anterior. Porém, neste caso houve a renovação diária de 80% do volume de água de cada aquário e não foi fornecido alimento aos animais neste período.

### **Experimento piloto com juvenis**

Para a definição das faixas de pH a serem testadas, realizou-se um teste piloto. Neste, 5 juvenis foram acondicionados dentro de aquários contendo 3 L de volume de água cada, com aeração constante e temperatura média de 25,3°C. Os seguintes tratamentos (pH) foram testados: 8,0, 8,5, 9,5, 10,0, 10,5, 10,8, 11,0 e 12,0. Os animais foram mantidos nas unidades experimentais por 16 h. A cada hora, os aquários eram vistoriados e os animais mortos eram contabilizados e retirados.

Observou-se que acima do pH 10, todos os animais morreram e no pH 8,0 todos sobreviveram. A partir destes resultados, os limites de pH testados no experimento definitivo foram definidos entre 8,5 e 10,0.

### **Exposição dos juvenis ao pH alcalino**

Dez exemplares de *A. altiparanae* foram acondicionados em aquários contendo 4 L de água, com a presença de aeração constante e em temperatura a  $25,5 \pm 1^\circ\text{C}$ . Esses animais foram expostos, pelo período de 96 h, a diferentes pH: 8,5, 9,0, 9,5 e 10,0. Além dos tratamentos, foi testado um grupo controle (composto apenas por água do sistema), todos em duplicata, e uma unidade experimental, com as mesmas condições do grupo controle, em que não havia nenhum animal (branco). Os animais não foram alimentados durante o experimento.

Após a retirada diária da água das unidades experimentais (80% do volume total), a reposição era feita utilizando a água estabilizada com o pH previamente definido para cada tratamento, previamente clorada e neutralizada, com presença de aeração constante, contida nos tanques de 80 L presentes no interior da sala de experimento.

Antes da renovação eram mensuradas as seguintes variáveis abióticas da água: temperatura e oxigênio dissolvido (oxímetro digital YSI® Pro 20, USA); pH (pHmetro Sensoglass® SP1400, Brasil); concentração de amônia total ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), obtidas pelo método colorimétrico (Apha, 2005), mediante leitura das amostras por espectrometria em fluorímetro (Molecular Devices® – ExpectraMax M2, EUA); alcalinidade e concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mensurada por titulometria com ácido sulfúrico a 0,02 N e hidróxido de sódio 0,01 N, respectivamente (APHA, 2005a).

Diariamente, a cada 6 horas, as unidades experimentais eram vistoriadas. Durante este processo, os animais mortos eram quantificados e retirados e o pH de cada tratamento era medido e corrigido. A confirmação da morte foi feita através do aspecto geral dos animais, da ausência de movimentos operculares por 15 segundos e da ausência de resposta ao toque nesse mesmo período.

### **Análises estatísticas**

Os dados coletados sobre as variáveis abióticas da água foram agrupados e sua normalidade testada pelo método de Shapiro & Wilk. Quando confirmada a normalidade dos dados ( $p > 0,05$ ) os mesmos eram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias de Cochran C., Hartley & Bartlett e ao teste de homocedasticidade. Posteriormente, os dados eram submetidos ao teste de ANOVA One Way e ao teste *a posteriori* de Tukey, para comparação entre os tratamentos. Nos casos em que era constatada a distribuição não-paramétrica dos dados, era realizado o teste de ANOVA de Kruskal-Wallis e, posteriormente, o teste de comparação múltipla de p. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Statistica 10.0 (StatSoft®).

Os dados diários de mortalidade foram utilizados para o cálculo da  $CL_{50}$  nos experimentos com larvas e juvenis. Para isso, utilizou-se o Software Risk Assessment Tools no modo Estimating Acute Toxicity (EAT). O método de cálculo é baseado na análise padrão Probit.

## RESULTADOS

### Variáveis abióticas da água

No experimento com larvas, não houve diferenças na temperatura da água e nas concentrações de oxigênio dissolvido ( $p>0,05$ ), mantendo-se estes parâmetros dentro dos limites considerados toleráveis para a maioria dos peixes teleósteos (BURGGREN e ROBERTS, 1991). As concentrações de amônia total e nitrito foram inferiores a 0,05 mg/L e 0,08 mg/L, respectivamente, valores estes muito abaixo dos considerados capazes de causar efeitos tóxicos para *Astyanax sp.* (MARTINEZ e SOUZA, 2002; DAL PONT, 2012). As concentrações de CO<sub>2</sub> apresentaram tendência de diminuição à medida que o pH testado se tornava mais alcalino no experimento com larvas. Os grupos branco e controle não variaram entre si, mas diferiram significativamente dos demais tratamentos. Houve um aumento da alcalinidade com a elevação do pH dos tratamentos.

Tabela 1: Média e desvio padrão das variáveis abióticas da água dos diferentes tratamentos com larvas.

Tratamento	pH	T(°C)	OD	CO <sub>2</sub> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,6 ± 0,4	24,4 ± 1	6,4 ± 0,3	1,53 ± 0,07 <sup>b</sup>	11 ± 0,4 <sup>a</sup>
Controle	7,6 ± 0,4	24,4 ± 1	6,4 ± 0,4	1,40 ± 0,14 <sup>b</sup>	11 ± 0,9 <sup>ab</sup>
8,5	8,5 ± 0,4	24,4 ± 1	6,1 ± 0,4	0,19 ± 0,13 <sup>a</sup>	220 ± 15 <sup>abc</sup>
9,0	9,0 ± 0,2	24,4 ± 1	6,5 ± 0,5	0,05 ± 0,06 <sup>a</sup>	597 ± 199 <sup>abc</sup>
9,5	9,4 ± 0,3	24,3 ± 1	6,3 ± 0,5	0,02 ± 0,05 <sup>a</sup>	1131 ± 226 <sup>bc</sup>
10,0	9,8 ± 0,1	24,4 ± 1	6,5 ± 0,3	0 <sup>a</sup>	2196 ± 32 <sup>c</sup>
10,5	10,3 ± 0,3	23,7 ± 1	5,9 ± 0,9	0 <sup>a</sup>	2718 ± 102 <sup>c</sup>

Letras indicam diferenças significativas ( $p<0,05$ ) observadas entre os tratamentos.

OD: Oxigênio dissolvido. T: Temperatura.

No experimento com juvenis a temperatura e o oxigênio dissolvido também não apresentaram diferença ( $p>0,05$ ), e estavam em conformidade com os índices toleráveis pela espécie; os níveis de amônia e nitrito, que se mantiveram, assim como no experimento com larvas, respectivamente abaixo de 0,05 mg/L e 0,08 mg/L. A concentração de CO<sub>2</sub>, apresentou uma tendência a se reduzir e a alcalinidade a aumentar conforme se elevavam os valores de pH nos tratamentos.

Tabela 2: Média e desvio padrão das variáveis abióticas da água dos diferentes tratamentos com juvenis.

Tratamento	pH	T(°C)	OD	CO <sub>2</sub> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,5 ± 0,2	25,9 ± 1	6,7 ± 0,2	0,45 ± 0,02 <sup>bc</sup>	24 ± 0,4 <sup>a</sup>
Controle	7,4 ± 0,1	25,6 ± 1	6,6 ± 0,3	0,86 ± 0,3 <sup>d</sup>	24 ± 0,8 <sup>a</sup>
8,5	8,4 ± 0,1	25,5 ± 1	6,7 ± 0,2	0,48 ± 0,2 <sup>c</sup>	69 ± 41 <sup>ab</sup>
9,0	8,9 ± 0,1	25,8 ± 1	6,4 ± 0,3	0,3 ± 0,13 <sup>ab</sup>	104 ± 24,5 <sup>bc</sup>
9,5	9,4 ± 0,1	25,5 ± 1	6,5 ± 0,1	0,13 ± 0,09 <sup>a</sup>	129 ± 46 <sup>c</sup>



Tratamento	pH	T(°C)	OD	CO <sub>2</sub> (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
10	9,9 ± 0,1	25,6 ± 1	6,4 ± 0,1	0 <sup>a</sup>	148 ± 58 <sup>c</sup>

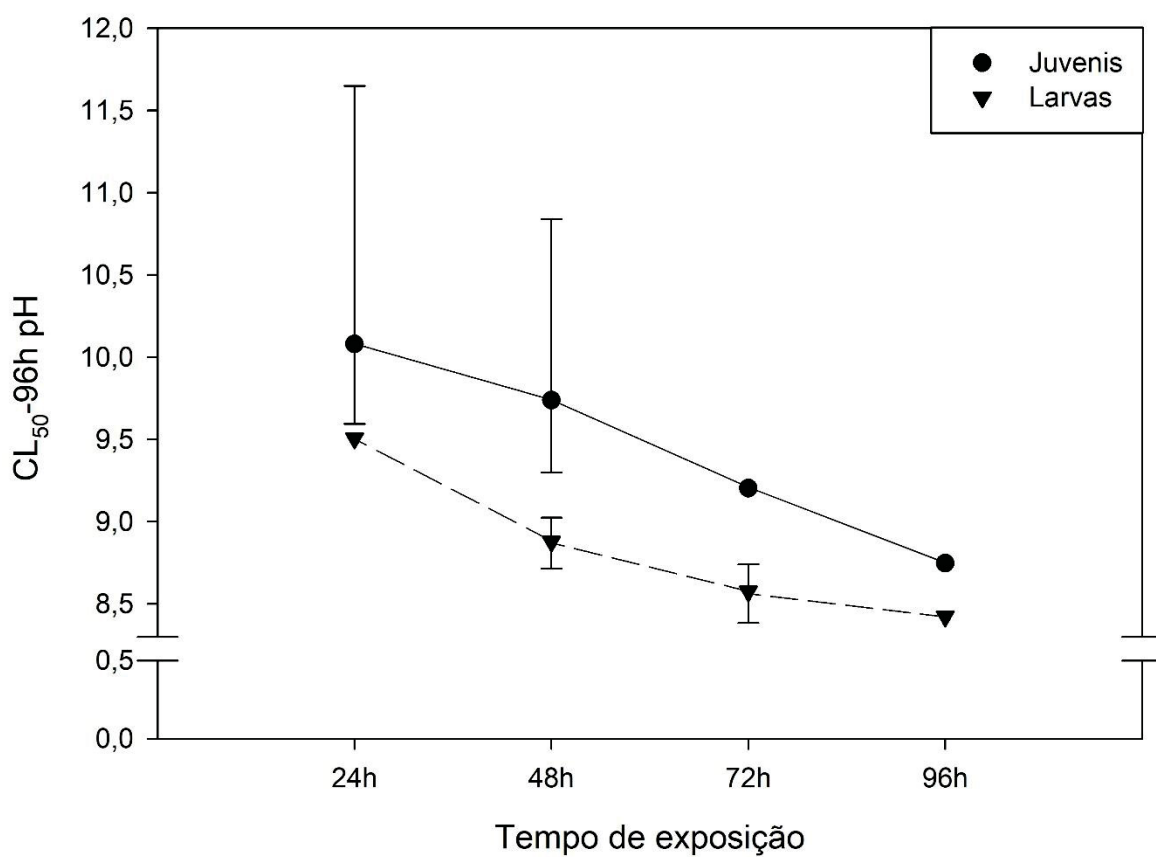
Letras indicam as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) observadas entre os tratamentos.

OD: Oxigênio dissolvido. T: Temperatura

### CL<sub>50</sub> para larvas e juvenis

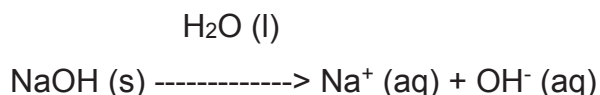
Os valores de CL<sub>50</sub> dos diferentes tratamentos com pH alcalino para larvas e juvenis de *A. altiparanae* estão representados na figura 1 e variaram entre 9,5 (24 h) e 8,4 (96 h) no caso das larvas e entre 10,1 (24 h) e 8,7 (96 h) no caso dos juvenis.

Figura 1 - CL<sub>50</sub> dos distintos meios alcalinos para larvas e juvenis de *A. altiparanae* nos diferentes períodos de exposição.



## DISCUSSÃO

O NaOH é um composto que apresenta elevada solubilidade em água (1090 g/L a 20 °C) e o seu processo de dissociação em meio aquoso é representado pela seguinte equação:



A concentração da hidroxila  $\text{OH}^-$  é responsável por alcalinizar o meio, bem como alterar as concentrações de  $\text{CO}_2$  livre e a alcalinidade ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_2^-$ ) (WOLF-GLADROW *et al.*, 2007; BOYD *et al.*, 2016). Esperava-se a ausência de  $\text{CO}_2$  nos tratamentos com pH igual ou superiores a 8,0 (BOYD *et al.*, 2011; BOYD *et al.*, 2016), o que não ocorreu nos experimentos, provavelmente devido à presença dos animais e a consequente liberação deste composto na água em decorrência do metabolismo respiratório (WURTS e DURBOROW, 1992; STONE e THOMFORDE, 2004). A presença de  $\text{CO}_2$  constatada também explica a tendência de redução do pH da água mensurada nos tratamentos ter sido menor em relação à água de reposição usada nos mesmos (GRACE *et al.*, 1994; SUMMERFELT *et al.*, 2000).

A tendência de elevação da alcalinidade em função do aumento do pH é relatada por diversos autores (STICKNEY, 1994; BOYD *et al.*, 2011; BOYD *et al.*, 2016; CLAUDE, 2017; MUSTAPHA, 2017). Porém, os valores desse parâmetro foram, em média, maiores nos tratamentos com pH alcalino das larvas que de juvenis, o que pode ser explicado pelo maior volume gasto para reposição da água dos diferentes tratamentos com juvenis.

A exposição dos peixes ao pH alcalino afeta diretamente o seu equilíbrio osmótico, ocasionando um quadro de alcalose metabólica (HEMING e BLUMHAGEN, 1988; DANULAT, 1995; WILKIE e WOOD, 1995; 1996; BALDISSEROTTO, 2002; BOLNER e BALDISSEROTTO, 2007; PARRA e BALDISSEROTTO, 2007) que é um distúrbio no equilíbrio ácido-base gerando um aumento no pH plasmático (PERRY e GOSS, 1994; CLAIBORNE *et al.*, 2002), podendo levar o animal a óbito rapidamente (PARRA e BALDISSEROTTO, 2007). Um dos motivos que causa a morte do animal é que, com o pH plasmático elevado, a metabolização e excreção de compostos nitrogenados, principalmente de amônia ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ), sofre redução (CAMERON e HEISLER, 1983; THOMAS *et al.*, 1992; WRIGHT, 1993; WILKIE e WOOD, 1996),

levando ao acúmulo dela em diversos tecidos como cérebro (NORENBERG *et al.*, 2004; SANDERSON *et al.*, 2010; THOMPSON *et al.*, 2015), fígado (SAHA *et al.*, 2002), rins (SAHA *et al.*, 2002; BOLNER *et al.*, 2014), músculos (SAHA *et al.*, 2002; BOLNER *et al.*, 2014) e também no plasma (WRIGHT *et al.*, 1993; WILKIE e WOOD, 1996; SAHA *et al.*, 2002), interferindo no processo de polarização das membranas e causando morte celular (YESAKI e IWAMA, 1992; WILKIE *et al.*, 1993; BEAUMONT *et al.*, 2000; IP *et al.*, 2001; RANDALL e TSUI, 2002).

Outra consequência causada pela alcalose metabólica, que contribui para a mortalidade, é o alto gasto energético que este quadro patológico acarreta ao animal, acionando mecanismos que visam frear a elevação no pH plasmático (WILKIE, 1994; WILKIE e WOOD, 1996). Este repentino aumento no gasto energético obriga o organismo a utilizar rotas de produção de energia de forma anaeróbica, acumulando lactato em diversos tecidos (WILKIE e WOOD, 1991; WILKIE *et al.*, 1993; WILKIE e WOOD, 1995; 1996; SAHA *et al.*, 2002; BOLNER *et al.*, 2014). Por fim, a alcalose metabólica também promove um desequilíbrio iônico (HEMING e BLUMHAGEN, 1988; LIN e RANDALL, 1990; WILKIE e WOOD, 1991; YESAKI e IWAMA, 1992; SAHA *et al.*, 2002).

Algumas espécies de peixes são naturalmente mais tolerantes a meios com pH alcalino, para tal, desenvolveram uma série de mecanismos que evitam a ocorrência de uma alcalose metabólica (RANDALL *et al.*, 1989; WOOD *et al.*, 1989; DANULAT e KEMPE, 1992; LINDLEY *et al.*, 1999). Estes mecanismos adaptativos descritos geralmente não são encontrados de forma aprimorada em peixes que habitam ambientes com águas mais ácidas como as das regiões onde o *A. altiparanae* é naturalmente encontrado, variando entre 3,9 a 9,0 (ZAIONS e BALDISSEROTTO, 2000; BALDISSEROTTO, 2002). Segundo ORSI *et al.* (2004), essa espécie apresenta ainda preferência por ocupar regiões junto à superfície na coluna de água e próximo às margens, locais estes naturalmente mais ácidos. Estas características da espécie podem estar refletidas na relativamente baixa tolerância ao pH alcalino encontrada nos experimentos com larvas e juvenis, em que as CL<sub>50</sub> após 96 horas foram, respectivamente, 8,4 e 8,7.

Outro aspecto importante observado foi a maior tolerância dos juvenis ao pH alcalino em relação às larvas. É possível que este fato esteja ligado ao incipiente grau de desenvolvimento tecidual das larvas, que ainda não possuem o fígado, brânquias

e rins completamente desenvolvidos, o que contribui para que tenha menor capacidade de osmorregulação (VARSAMOS *et al.*, 2005; EVANS, 2008).

Apesar dos dados obtidos nos experimentos demonstrarem que *A. altiparanae* é uma espécie sensível ao pH alcalino, alguns aspectos devem ser levados em conta para analisar os reais impactos que o efluente gerado pelo uso do NaOH para o controle do *L. fortunei* em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas podem ocasionar nessa espécie.

Em condições laboratoriais, o ambiente é estático, não tendo a mesma dinâmica observada à jusante de uma usina hidrelétrica. Nos sistemas de resfriamento, onde o NaOH é injetado, não há presença de juvenis devido a todas as estruturas filtrantes que compõem os mesmos. O volume de água dessas tubulações em relação ao volume dos rios onde o efluente é lançado também é baixo, uma vez que são estruturas que não possuem grandes vazões. No meio ambiente, a capacidade tamponante para o pH alcalino tende a ser alta.

A sensibilidade do *A. altiparanae*, tanto de larvas quanto de juvenis, observadas nos experimentos, sugerem que o uso do NaOH para o controle do *L. fortunei* em sistema de resfriamento de usinas hidrelétricas não apresenta potencial para causar impactos ambientais na ictiofauna nativa do meio em que se encontram as usinas. Contudo, pontua-se que estudos futuros devem ser considerados para melhor análise do comportamento dos animais, em meio natural, frente ao efluente gerado por este método químico de controle.

## REFERÊNCIAS

- AGUDO-PADRÓN, A. I. **Vulnerabilidade da rede hidrográfica do estado de Santa Catarina, SC, ante o avanço invasor do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857).** Revista Discente Expressões Geográficas. Florianópolis - SC. 103 - nº 04: 29 p. 2008.
- AGUILAR IBARRA, A. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. **Artículos**, 2005. ISSN 1607-6079.
- ALVES, V. B. D. S.; DA SILVA, J. E.; BERNSTEIN, A. **Impactos do acidente na Indústria de Papel e Celulose Cataguases, no Rio Paraíba do Sul.** Rio de Janeiro - RJ: Biblioteca Educação Pública Meio Ambiente - Fundação CECIERJ 2013.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater: 4500-NH3 Método fenol de determinação de Amonia Total.** Washington, DC, USA 1995.
- APHA., A. P. H. A. Standard methods for the examination of water and wastewater. Method 4500 F. 4-114., v. 21, 2005.
- ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 61-72, 2007. ISSN 1413-8123.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura.** UFSM Santa Maria, 2002. ISBN 8573910321.
- BEAUMONT, M.; TAYLOR, E.; BUTLER, P. The resting membrane potential of white muscle from brown trout (*Salmo trutta*) exposed to copper in soft, acidic water. **Journal of Experimental Biology**, v. 203, n. 14, p. 2229-2236, 2000. ISSN 0022-0949.
- BERTI, A. P.; SILVA, E. M.; GRASSI, L. E. A. Avaliação ecotoxicológica da qualidade da água em *Astyanax bimaculatus*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2015. ISSN 2236-7934.
- BITTENCOUNT, C. Farmacopéia Brasileira. **Atheneu Editora, São Paulo**, p. 406, 1977.
- BOLNER, K.; BALDISSEROTTO, B. Water pH and urinary excretion in silver catfish *Rhamdia quelen*. **Journal of Fish Biology**, v. 70, n. 1, p. 50-64, 2007. ISSN 1095-8649.
- BOLNER, K. C. et al. Water pH and metabolic parameters in silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 56, p. 202-208, 2014. ISSN 0305-1978.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S.; SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 47, n. 1, p. 6-41, 2016. ISSN 1749-7345.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S.; VIRIYATUM, R. Interpretation of pH, acidity, and alkalinity in aquaculture and fisheries. **North American Journal of Aquaculture**, v. 73, n. 4, p. 403-408, 2011. ISSN 1522-2055.

BRASIL. **PORTARIA Nº 494, DE 16 DE OUTUBRO DE 2015**. PROJETOS, S.-A. D. Brasília: Diário Oficial da União. 494: 2 p. 2015.

BURGGREN, W.; ROBERTS, J. Respiration and metabolism. **Environmental and metabolic animal physiology**, p. 353-435, 1991.

CAMERON, J. N.; HEISLER, N. Studies of ammonia in the rainbow trout: physico-chemical parameters, acid-base behaviour and respiratory clearance. **Journal of Experimental Biology**, v. 105, n. 1, p. 107-125, 1983. ISSN 0022-0949.

CATALDO, D. et al. Temperature-Dependent Rates Of Larval Development In *Limnoperna Fortunei* (Bivalvia: Mytilidae). **Journal of Molluscan Studies**, v. 71, n. 1, p. 41-46, 2005. ISSN 0260-1230. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1093/mollus/eyi005> >.

CLAIBORNE, J. B.; EDWARDS, S. L.; MORRISON-SHETLAR, A. I. Acid-base regulation in fishes: cellular and molecular mechanisms. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology**, v. 293, n. 3, p. 302-319, 2002. ISSN 1097-010X.

CLAUDE, E. Likely Effects of the Increasing Alkalinity of Inland Waters on Aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, 2017. ISSN 0893-8849.

COSTA, T. C.; PEDLOWSKY, M. A. **Um estudo sobre os impactos do acidente ambiental da “Cataguazes de Papel” sobre as comunidades de pescadores da foz do Rio Paraíba do Sul**. Indaiatuba - SP: II Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade 2004.

DAL PONT, G. **Toxicidade do óleo diesel para o peixe *Astyanax Altiparanae***. 2012. 112 Dissertação (Mestrado). Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

DANULAT, E. Biochemical-physiological adaptations of teleosts to highly alkaline, saline lakes. In: (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of fishes**: Elsevier, v.5, 1995. p.229-249. ISBN 1873-0140.

DANULAT, E.; KEMPE, S. Nitrogenous waste excretion and accumulation of urea and ammonia in *Chalcalburnus tarichi* (Cyprinidae), endemic to the extremely alkaline Lake Van (Eastern Turkey). **Fish physiology and biochemistry**, v. 9, n. 5-6, p. 377-386, 1992. ISSN 0920-1742.

DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P.; DAMBORENEA, C. **The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality**. 1999. 361-365.

EVANS, D. H. Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 2, p. R704-R713, 2008. ISSN 0363-6119.

FELIX, É. P. **Avaliação de técnicas de controle da incrustação por mexilhão-dourado em hidrogeradores visando minimização da indisponibilidade**. 2011. 213 Tese (Doutor). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo.

GALVAN, G. L. Avaliação genotóxica de efluentes químicos de laboratórios de instituição de ensino e pesquisa utilizando como bioindicador o peixe *Astyanax altiparanae* (Characidae). 2011.

GIORDANI, S.; NEVES, P.; ANDREOLI, C. Limnoperna fortunei ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importância do controle de sua disseminação. 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Mato Grosso do Sul, Brasil, 2005.

GRACE, G.; PIEDRAHITA, R.; TIMMONS, M. Carbon dioxide control [aquaculture water reuse systems]. **Dev. Aquacult. fish. sci**, v. 27, p. 209-234, 1994.

HEMING, T. A.; BLUMHAGEN, K. A. Plasma acid-base and electrolyte states of rainbow trout exposed to alum (aluminum sulphate) in acidic and alkaline environments. **Aquatic toxicology**, v. 12, n. 2, p. 125-139, 1988. ISSN 0166-445X.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Estatísticas**. Rio de Janeiro: IBGE 2018.

IP, Y.; CHEW, S.; RANDALL, D. Ammonia toxicity, tolerance, and excretion. **Fish physiology**, v. 20, p. 109-148, 2001. ISSN 1546-5098.

LIN, H.; RANDALL, D. The effect of varying water pH on the acidification of expired water in rainbow trout. **Journal of Experimental Biology**, v. 149, n. 1, p. 149-160, 1990. ISSN 0022-0949.

LINDLEY, T. E. et al. Muscle as the primary site of urea cycle enzyme activity in an alkaline lake-adapted tilapia, *Oreochromis alcalicus grahami*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 274, n. 42, p. 29858-29861, 1999. ISSN 0021-9258.

LINS, J. A. P. N. et al. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 8, n. 4, p. 469-484, 2017. ISSN 1981-4178.

MÄDER-NETTO, O. S. **Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. 2011. 113 Mestrado (Mestre). Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARTINEZ, C. B. R.; SOUZA, M. M. Acute effects of nitrite on ion regulation in two neotropical fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 1, p. 151-160, 2002/09/01/ 155 2002.



ISSN 1095-6433. Available at:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643302001447>.

MME, M. D. M. E. E. D. B. **Balanco Energético Nacional - Capacidade Instalada - Série Histórica**. Brasília: MME 2016.

MONTRESOR, L. C. MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.

\_\_\_\_\_. **Implicações ecotoxicológicas do controle químico de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae)**. 2014. 68 Tese (Doutor). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.

MUSTAPHA, M. K. Comparative Assessment of the Water Quality of Four Types of Aquaculture Ponds under Different Culture Systems. **Advanced Research in Life Sciences**, v. 1, n. 1, p. 104-110, 2017. ISSN 2543-8050.

NORENBERG, M.; RAO, K. R.; JAYAKUMAR, A. Ammonia neurotoxicity and the mitochondrial permeability transition. **Journal of bioenergetics and biomembranes**, v. 36, n. 4, p. 303-307, 2004. ISSN 0145-479X.

ORSI, M. L.; CARVALHO, E. D.; FORESTI, F. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio rio Paranapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, p. 207-218, 2004. ISSN 0101-8175.

PARRA, J. E. G.; BALDISSEROTTO, B. Effect of water pH and hardness on survival and growth of freshwater teleosts. **Fish osmoregulation. Science Publishers, New Hampshire**, p. 135-150, 2007.

PERRY, S.; GOSS, G. The effects of experimentally altered gill chloride cell surface area on acid-base regulation in rainbow trout during metabolic alkalosis. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 164, n. 4, p. 327-336, 1994. ISSN 0174-1578.

PESSOTTO, M.; NOGUEIRA, M. More than two decades after the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) in La Plata Basin. **Brazilian Journal of Biology**, n. AHEAD, p. 0-0, 2018. ISSN 1519-6984.

PESTANA, D. et al. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 50, p. 553-559, 2010. ISSN 0031-1049. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso)>.

PIANCINI, L. D. S. Biomonitoramento do rio iguaçu em dois pontos utilizando como bioindicador peixes do gênero *Astyanax* (Characiforme, Characidae). 2013.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**, v. 2, p. 101-116, 2005.



RAMSDORF, W. Utilização de duas espécies de *Astyanax* (*Astyanax* sp B e A. *Altiparanae*) como bioindicadores de região contaminada por agrotóxico (Fazenda Canguiri-UFPR). 2007.

RANDALL, D.; TSUI, T. Ammonia toxicity in fish. **Marine pollution bulletin**, v. 45, n. 1-12, p. 17-23, 2002. ISSN 0025-326X.

RANDALL, D. et al. Urea excretion as a strategy for survival in a fish living in a very alkaline environment. **Nature**, v. 337, n. 6203, p. 165, 1989. ISSN 1476-4687.

SAHA, N. et al. Effect of alkalinity (pH 10) on ureogenesis in the air-breathing walking catfish, *Clarias batrachus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, n. 2, p. 353-364, 2002. ISSN 1095-6433.

SANDERSON, L. et al. Inhibition of glutamine synthetase during ammonia exposure in rainbow trout indicates a high reserve capacity to prevent brain ammonia toxicity. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 13, p. 2343-2353, 2010. ISSN 0022-0949.

SANTOS, D. C. M. D. Toxidez aguda do zinco em lambaris *Astyanax aff. bimaculatus* (Linnaeus, 1758). 2009.

SOUZA, R. D. Q. **Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de usinas hidrelétricas**. 2008. 226 Dissertação (Mestre). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília - DF.

STICKNEY, R. R. **Principles of aquaculture**. John Wiley and Sons, Inc., 1994. ISBN 0471578568.

STONE, N. M.; THOMFORDE, H. K. **Understanding your fish pond water analysis report**. Cooperative Extension Program, University of Arkansas at Pine Bluff, US Department of Agriculture and county governments cooperating, 2004.

SUMMERFELT, S. T.; VINCI, B.; PIEDRAHITA, R. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. **Aquacultural engineering**, v. 22, n. 1-2, p. 87-108, 2000. ISSN 0144-8609.

THOMAS, S. et al. Metabolic alkalosis and the response of the trout, *Salmo fario*, to acute severe hypoxia. **Respiration physiology**, v. 87, n. 1, p. 91-104, 1992. ISSN 0034-5687.

THOMPSON, W. A.; RODELA, T. M.; RICHARDS, J. G. The effects of strain and ploidy on the physiological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to pH 9.5 exposure. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 183, p. 22-29, 2015. ISSN 1096-4959.

VARSAMOS, S.; NEBEL, C.; CHARMANTIER, G. Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: a review. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:**

**Molecular & Integrative Physiology**, v. 141, n. 4, p. 401-429, 2005. ISSN 1095-6433.

WILKIE, M. P.; WOOD, C. M. Nitrogenous Waste Excretion, Acid-Base Regulation, and Ionoregulation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Exposed to Extremely Alkaline Water. **Physiological Zoology**, v. 64, n. 4, p. 1069-1086, 1991. ISSN 0031-935X.

\_\_\_\_\_. Recovery from high pH exposure in the rainbow trout: white muscle ammonia storage, ammonia washout, and the restoration of blood chemistry. **Physiological zoology**, v. 68, n. 3, p. 379-401, 1995. ISSN 0031-935X.

\_\_\_\_\_. The adaptations of fish to extremely alkaline environments. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 113, n. 4, p. 665-673, 1996. ISSN 1096-4959.

WILKIE, M. P. et al. The physiological responses of the Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*), a resident of highly alkaline Pyramid Lake (pH 9.4), to challenge at pH 10. **Journal of Experimental Biology**, v. 175, n. 1, p. 173-194, 1993. ISSN 0022-0949.

WILKIE, P. M. **The physiological adaptations of two salmonids, the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the high pH tolerant Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*), to highly alkaline environments.** 1994.

WOLF-GLADROW, D. A. et al. Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes. **Marine Chemistry**, v. 106, n. 1-2, p. 287-300, 2007. ISSN 0304-4203.

WOOD, C. et al. Ammonia and urea dynamics in the Lake Magadi tilapia, a ureotelic teleost fish adapted to an extremely alkaline environment. **Respiration physiology**, v. 77, n. 1, p. 1-20, 1989. ISSN 0034-5687.

WRIGHT, P. A. Nitrogen excretion and enzyme pathways for ureagenesis in freshwater tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Physiological zoology**, v. 66, n. 6, p. 881-901, 1993. ISSN 0031-935X.

WRIGHT, P. A.; IWAMA, G. K.; WOOD, C. M. Ammonia and urea excretion in Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*) adapted to the highly alkaline Pyramid Lake (pH 9.4). **Journal of Experimental Biology**, v. 175, n. 1, p. 153-172, 1993. ISSN 0022-0949.

WURTS, W. A.; DURBOROW, R. M. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. 1992.

YESAKI, T. Y.; IWAMA, G. K. Survival, acid-base regulation, ion regulation, and ammonia excretion in rainbow trout in highly alkaline hard water. **Physiological Zoology**, v. 65, n. 4, p. 763-787, 1992. ISSN 0031-935X.

ZAIONS, M. I.; BALDISSEROTTO, B. Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> body levels and survival of fingerlings of *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Pimelodidae) exposed to acute changes of water pH. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 1041-1045, 2000. ISSN 0103-8478.

## **CAPÍTULO II – TOXICIDADE AGUDA DO MOLUSCICIDA MXD-100 PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae* EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS**

### **RESUMO**

Procurando ocupar a lacuna existente no mercado de produtos destinados à prevenção e controle de bioincrustações provocadas pelo mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas, foi desenvolvido comercialmente o moluscicida (MXD-100), a base de dois sais quaternários de amônia e taninos. Seu registro e licença para uso foram concedidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em caráter provisório. No entanto, pouco se conhece ainda sobre os potenciais ou reais impactos que este produto poderia causar aos ambientes aquáticos. Este estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade aguda do MXD-100, em condições laboratoriais, para juvenis e larvas de *Astyanax altiparanae*, espécie de peixe autóctone da bacia do Rio Paraná. Foram conduzidos dois experimentos, com larvas e juvenis, com duração de 96 h. Os juvenis foram expostos, em unidades experimentais com volume útil de 4 L às seguintes concentrações do produto: 2,4,6,8 e 10 ppm. As larvas foram expostas ao MXD-100 em poços de placas de cultivo celular, com cada poço contendo 10 ml de volume útil, contendo as seguintes concentrações: 1,2,3,4,5,6,7,8,9 e 10 ppm. Em ambos os experimentos havia um tratamento controle, onde os animais não eram expostos ao produto testado. A cada 6 horas a mortalidade era avaliada para o cálculo da CL<sub>50</sub>, que variou de 132,1 ppm (24 h) a 2,8 ppm (96 h) para juvenis e 10,6 (24 h) a 3,8 (96 h) para larvas.

**Palavras-chave:** CL<sub>50</sub>, quaternário de amônia, tanino, MXD-100.

## ABSTRACT

Due to the lack of offer of products that can be used in the control of biofouling caused by the *Limnoperna fortunei* (golden mussel) in cooling system of hydroelectric power plants, a molluscicidal product composed by two quaternaries of ammonia and tannins was developed, called MXD-100. Its registration and license for use was provisionally granted, with a deadline date established. This project has the aim to evaluate the possible impact that this product could cause in the environment around the hydroelectric power plants, evaluating the acute toxicity of MXD-100 in laboratory conditions, on juveniles and larvae of the specie *Astyanax altiparanae*, native to the Paraná river basin. Two experiments were conducted, lasting 96 hours each. The juveniles were exposed, in experimental units with a useful volume of 4 L, continuously, to the following concentrations: 2,4,6,8 and 10 ppm. The larvae were also exposed to the MXD-100 in cell culture plate size 6 wells with 10 mL of volume each well to the following concentrations: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 ppm. In both experiments there was a control treatment where the animals were not exposed to the tested product. Mortality was recorded every 6 h for the calculation of LC<sub>50</sub> every 24 h. The MXD-100 presented LC<sub>50</sub> ranging from 132.1 ppm (24 h) to 2.8 ppm (96 h) for juveniles and 10.6 (24 h) to 3.8 (96 h) for larvae.

**Keywords:** LC<sub>50</sub>, ammonium quaternary, tannin, MXD-100.

## INTRODUÇÃO

A introdução accidental ou proposital de espécies não-autóctones constituiu grave ameaça à integridade e à estabilidade de ecossistemas aquáticos, gerando consequências negativas não somente de natureza ambiental, mas afetando também a economia e o meio social (PIMENTEL *et al.*, 2005; PEJCHAR e MOONEY, 2009). Um dos exemplos mais evidentes dos impactos provocados por um organismo bioinvasor na região sulamericana é o do *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado). (DARRIGRAN e DAMBORENEA, 2009). A espécie, originária do sudeste asiático, é um molusco bivalve de água doce que apresenta elevado potencial de invasão (BARBOSA e MELO, 2009). O *L. fortunei* foi introduzido na América do Sul em 1991, através da água de lastro de navios que atracavam nos portos do estuário do Rio da Prata (PASTORINO *et al.*, 1993; DARRIGRAN e EZCURRA DE DRAGO, 2000), disseminando-se para grande parte do território brasileiro (PESTANA *et al.*, 2010).

Essa espécie se adere às estruturas hidráulicas, como as dos sistemas de resfriamento das usinas hidrelétricas, provocando graves prejuízos operacionais e econômicos, principalmente pela necessidade, cada vez mais frequente, de paradas de máquinas para limpeza do sistema; pelo aumento de gastos com a mão-de-obra especializada; pelo aumento do uso de materiais e substâncias utilizadas para limpeza do sistema; pelo desgaste provocado pela espécie às próprias estruturas dos sistemas hidráulicos (BELZ, 2006; DARRIGRAN e DAMBORENEA, 2009; PENAFORTE, 2014). O problema pode se tornar particularmente grave quando se considera que cerca de 61% matriz elétrica brasileira é dependente de usinas hidrelétricas (MME, 2016).

Por outro lado, há uma flagrante carência de produtos já registrados ou em processo de registro no Brasil voltados para prevenção e controle das incrustações provocadas pelo mexilhão-dourado em sistemas hidráulicos dessas usinas. Apenas dois produtos possuem licença (e em caráter provisório) para uso nessas condições: o dicloroisocianurato de sódio e o MXD-100 (Maxclean Ambiental e Química S.A, Brasil) (BRASIL, 2015). Segundo MÄDER-NETTO (2011), o MXD-100, um moluscicida que possui em sua composição dois sais quaternários de amônia como ingredientes ativos DDAC (cloreto de didecil dimetilamônio) (CAS Nº 7173-51-5) e cloreto de alquil amido propil dimetil benzil amônio (ADBAC) (CAS Nº 124046-05-5), é o produto disponível mais eficiente no combate ao *L. fortunei*.

O MXD-100 possui “Certificado de registro como agrotóxicos e afins para uso emergencial no controle do Mexilhão-Dourado – *Limnoperna fortunei* em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas” Nº 6925/15 (IBAMA, 2016), recebendo o produto a classificação toxicológica: I – Extremamente tóxico e classificação quanto ao potencial de periculosidade ambiental: I – Altamente perigoso ao Meio Ambiente. A Instrução Normativa (IN) do IBAMA Nº17/2015 (IBAMA, 2015), em seu anexo II, estabeleceu as condições e restrições de uso do MXD-100:

b.) Dose e frequência de aplicação: a dose pode variar entre 1 mg/l a 7 mg/L, de acordo com o tamanho dos dutos a serem limpos e o nível de incrustação local. O teor de ingrediente ativo a ser alcançado para garantir a eficácia do tratamento varia de 0,08 mg/L a 0,56 mg/L, assim permanecendo no sistema aquoso por 10 minutos a cada 8 horas, totalizado 30 minutos diários. Concentrações de MXD-100 superiores a 2 mg/L só poderão ser utilizadas pelo prazo máximo de 30 dias, e após esse período devem ser reduzidas para 1 a 2 mg/L.

c.) Modo de aplicação: a aplicação do produto, sem prévia diluição, deverá ser feita com o uso de sistema de controle acoplado ao sistema de resfriamento das unidades geradoras da usina hidrelétrica, sendo o produto dosado automaticamente, por bomba dosadora, conforme programação estabelecida e a manutenção da concentração do produto no sistema deve ser monitorada.

d.) Deve ser realizado monitoramento do efluente a ser lançado no corpo hídrico, além de outras exigências que possam vir a ser estabelecidas pelo órgão ambiental competente, nos termos da Resolução CONAMA nº 467 de 2015 e visando o atendimento da Resolução CONAMA nº 430 de 2011.

Apesar de ter tido seu registro concedido em caráter emergencial e de se encontrar em processo de registro definitivo, há poucos estudos desenvolvidos que avaliam os possíveis impactos deste produto sobre a ictiofauna dos rios onde o mesmo será utilizado.

Uma das formas de estudar esses possíveis impactos envolve o uso de bioindicadores, como é o caso do *Astyanax altiparanae* (lambari-do-rabo-amarelo). Uma espécie de pequeno porte, não-migratória, de hábito alimentar flexível, idade de maturação sexual reduzida e que pode ser cultivada em condições laboratoriais controladas (PORTO-FORESTI *et al.*, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo determinar a toxicidade aguda, em condições laboratoriais, do MXD-100 para larvas e juvenis do *A. altiparanae*.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Obtenção das larvas e juvenis**

Indivíduos adultos de *A. altiparanae* foram selecionados de um banco de reprodutores do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA) localizado no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, Paraná, Brasil. As larvas utilizadas nos experimentos foram obtidas a partir da reprodução induzida realizada no próprio laboratório. Foram utilizados ao todo, 12 reprodutores (n = 4 fêmeas e 8 machos).

Para a indução hormonal, os animais receberam dose única de 1000 UI/kg de Gonadotrofina Coriônica Humana (HCG), em seguida, foram acondicionados em um tanque-rede de nylon (3 mm com malha de 1,5 x 1,5 cm), com dimensões de 25 x 25 x 20 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), previamente instalado no interior de um aquário, contendo uma bomba submersa (SB-2000, Sarlobetter, Brasil), filtros mecânicos e biológicos e aeração constante, até a liberação dos ovócitos e posterior fertilização. Após a eclosão dos embriões, as larvas foram transferidas, com uma pipeta de Pasteur, para placas de cultivo de 6 poços (Kasvi K12-006, China), onde foram submetidas aos diferentes tratamentos.

Os exemplares de *A. altiparanae* na fase juvenil de desenvolvimento foram adquiridos na Central de Abastecimento do Paraná (CEASA), localizada em Curitiba, no estado do Paraná, Brasil. Os animais foram transportados em sacos plásticos, contendo água e oxigênio até o LAPOA.

### **Experimentos piloto com larvas e juvenis**

Para a definição da metodologia experimental e das concentrações de MXD-100 que seriam utilizadas nos testes definitivos, dois experimentos pilotos, envolvendo a exposição de larvas e de juvenis de *A. altiparanae* ao moluscicida, foram conduzidos. Inicialmente, 5 juvenis foram acondicionados em um aquário contendo 3 L de água, com aeração constante e temperatura média de 26,1°C. Os animais foram expostos a 8 concentrações do produto: 1, 10, 25, 50, 75, 100, 1000, 10000 e 100000 ppm, e mantidos nestes aquários por 12 h. A cada hora, os aquários eram vistoriados e os animais mortos eram contabilizados e retirados. Posteriormente, as mesmas concentrações do moluscicida foram testadas em larvas, mantidas em placas de cultivo celular de 6 poços (Kasvi K12-006, China), na densidade de duas larvas por



poço. As placas foram acondicionadas em incubadora vertical do tipo B.O.D. microprocessada (ADAMO, Brasil), com foto período ajustado para 12 h luz: 12 h escuro, e temperatura ajustada para 25°C.

Observou-se, em ambos os experimentos, que todos os animais (larvas e juvenis) expostos a concentrações maiores que 10 ppm de MXD-100, morreram. Por isso, as concentrações utilizadas nos testes definitivos variaram entre 1 até 10 ppm.

### **Exposição das larvas ao MXD-100**

Os animais foram submetidos a 10 tratamentos (1,2,3,4,5,6,7,8,9 e 10 ppm), um grupo controle (composto apenas por água da rede pública de abastecimento, previamente clorada, neutralizada, com a presença e larvas e sem a exposição ao MXD-100) e um grupo branco (nas mesmas condições do grupo controle, mas sem a presença de larvas). Cada tratamento foi testado em 3 placas de cultivo celular de 6 poços cada, totalizando 18 repetições por tratamento, com densidade de duas larvas por poço. As placas foram mantidas em incubadora vertical tipo B.O.D. microprocessada (ADAMO, Brasil), com fotoperíodo de 12 h claro: 12 h escuro e temperatura a  $25,2 \pm 1^\circ\text{C}$ .

O experimento foi dividido em 5 períodos e teve duração total de 96 horas: hora zero; 24, 48, 72 e 96 h. A avaliação da mortalidade das larvas foi feita a cada período de 24 h, sendo constatada a morte através do aspecto geral dos animais e da ausência de resposta ao toque por 15 segundos. Diariamente, 80% do volume de água de cada um dos poços foram renovados. Este volume era repostado com as devidas soluções de reposição de cada tratamento, previamente preparadas.

### **Aclimação dos juvenis**

Em laboratório, os animais foram separados em dois grupos de 500 indivíduos e distribuídos em dois tanques plásticos com volume útil de 800 L, posicionados em uma estufa agrícola, dotada de sistema de controle de temperatura, filtro biológico e recirculação de água, para a manutenção da qualidade das variáveis abióticas. Deste lote de peixes, foram coletados ao acaso 25 indivíduos para a análise biométrica inicial, mensurando-se seu peso total ( $0,7 \pm 0,2$  g), em uma balança digital (BEL Engineering S4202, Itália) e o comprimento total ( $3,0 \pm 0,3$  cm), com um paquímetro universal 200 mm (Vonder, Brasil). Os peixes foram mantidos nestes tanques e

alimentados *ad libitum*, com ração comercial extrusada (Kowalski, Brasil), contendo 38% de proteína bruta.

Após 10 dias de aclimação, 300 animais foram transferidos para uma sala de experimentos, onde passaram por mais 3 fases de aclimação antes do início do experimento. Na primeira fase (3 dias), os peixes foram separados em dois grupos e acondicionados em dois tanques com volume individual útil de 80 L. O fotoperíodo foi ajustado em 12:12 h (claro: escuro). Cada grupo de animais foi alimentado, *ad libitum*, com a mesma ração comercial anteriormente utilizada. Diariamente, 50% do volume de água de cada tanque foi renovado.

Posteriormente, na segunda fase de aclimação (dois dias), os peixes eram transferidos para 4 aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 14 L. A temperatura foi mantida em 24°C. O manejo nutricional, alimentar e de manutenção foram os mesmos da fase anterior de aclimação.

Na terceira fase (dois dias), os animais foram distribuídos em aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 4 L idênticos aos das unidades experimentais. Cada aquário recebeu 10 peixes, que foram mantidos nas mesmas condições da fase anterior. Porém, neste caso houve a renovação diária de 80% do volume de água de cada aquário e não foi fornecido alimento aos animais neste período.

### **Exposição dos juvenis ao MXD-100**

Dez exemplares de *A. altiparanae* foram acondicionados em aquários contendo 4 L de água, em presença de aeração constante e temperatura a  $26,3 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Cada aquário correspondia a uma unidade experimental. Foram testados 5 tratamentos com as seguintes concentrações de MXD-100: 2,4,6,8 e 10 ppm, além de um grupo controle, testado sem a presença do MXD-100 e um grupo branco, com as mesmas condições do grupo controle, porém sem a presença de animais. Todos os tratamentos foram realizados em duplicata, exceto o grupo branco que era composto por apenas uma unidade experimental. O experimento teve duração total de 96 h, com renovação de 75% do volume total a cada 24 h, soluções previamente preparadas com água livre de cloro e contendo as mesmas concentrações originais de MXD-100. Os animais não foram alimentados durante o experimento.

Antes da renovação eram mensuradas as seguintes variáveis abióticas da água de cada tratamento: temperatura e oxigênio dissolvido (oxímetro digital YSI® Pro 20, USA); pH (HORIBA LAQUAtwin B-713, Japão); concentração de amônia total ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), obtidas pelo método colorimétrico (Apha, 2005), mediante leitura das amostras por espectrometria em fluorímetro (Molecular Devices® – SpectraMax M2, EUA); alcalinidade e concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mensurada por titulometria com ácido sulfúrico a 0,02 N e hidróxido de sódio 0,02 N, respectivamente (APHA, 2005a).

Diariamente, a cada 12 horas, as unidades experimentais eram vistoriadas para a retirada de animais mortos, os quais eram quantificados e retirados. A confirmação da morte foi feita através do aspecto geral dos animais, da ausência de movimentos operculares por 15 segundos e da ausência de resposta ao toque nesse mesmo período.

### **Análises estatísticas**

Os dados coletados sobre as variáveis abióticas da água foram agrupados e sua normalidade testada pelo método de Shapiro & Wilk. Após confirmada a normalidade dos dados ( $p > 0,05$ ), os mesmos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias e ao teste de homocedasticidade. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste de ANOVA One Way. Todas essas análises estatísticas descritas foram realizadas utilizando-se o software Statistica 10.0 (StatSoft®).

Os dados diários de mortalidade foram utilizados para o cálculo da  $\text{CL}_{50}$  nos experimentos com larvas e juvenis utilizando-se o Software Risk Assessment Tools no modo Estimating Acute Toxicity (EAT). O método de cálculo é baseado na análise padrão Probit.

## RESULTADOS

### Variáveis abióticas da água

A temperatura, oxigênio dissolvido e alcalinidade mensuradas na água não apresentaram diferenças significativas nos experimentos com larvas e juvenis ( $p>0,05$ ) e mantiveram-se dentro dos limites toleráveis para a maioria dos peixes teleósteos (BURGGREN e ROBERTS, 1991). As concentrações de amônia total e nitrito foram, respectivamente, inferiores a 0,05 mg/L e 0,08 mg/l, tanto para larvas quanto para juvenis, níveis estes muito abaixo dos observados para causar efeitos tóxicos em peixes em ambas as fases de vida (MARTINEZ e SOUZA, 2002; DAL PONT, 2012).

Tabela 3: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com larvas.

Tratamento (ppm)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,3 ± 0,1	25,9 ± 1	4,2 ± 0,8	25 ± 2
Controle	7,4 ± 0,1	25,7 ± 1	4,4 ± 0,6	26 ± 3
1	7,5 ± 0,1	25,4 ± 1	4,8 ± 0,3	26 ± 3
2	7,5 ± 0,1	25,4 ± 1	4,9 ± 0,2	25 ± 3
3	7,5 ± 0,1	25,2 ± 1	5,0 ± 0,2	26 ± 3
4	7,5 ± 0,1	25,3 ± 1	5,0 ± 0,3	26 ± 2
5	7,5 ± 0,1	25,1 ± 1	4,9 ± 0,4	25 ± 4
6	7,5 ± 0,1	25,2 ± 1	4,9 ± 0,4	25 ± 3
7	7,6 ± 0,1	24,8 ± 1	4,9 ± 0,4	25 ± 2
8	7,5 ± 0,1	25,3 ± 1	4,8 ± 0,3	26 ± 3
9	7,5 ± 0,1	25,2 ± 1	4,6 ± 0,5	25 ± 3
10	7,5 ± 0,1	25,0 ± 1	5,0 ± 0,3	24 ± 3

T: Temperatura; OD: Oxigênio dissolvido

Tabela 4: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com juvenis.

Tratamento (ppm)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,4 ± 0,1	26,1 ± 0,1	4,9 ± 0,4	30 ± 3
Controle	7,5 ± 0,2	26,5 ± 0,2	4,3 ± 0,4	28 ± 1
2	7,6 ± 0,2	26,5 ± 0,2	4,3 ± 0,4	29 ± 2
4	7,5 ± 0,2	26,5 ± 0,2	4,1 ± 0,4	30 ± 4
6	7,5 ± 0,2	26,2 ± 0,2	4,3 ± 0,4	30 ± 3
8	7,5 ± 0,2	26,2 ± 0,2	4,3 ± 0,4	29 ± 1
10	7,6 ± 0,2	26,2 ± 0,2	4,3 ± 0,4	29 ± 2

T: Temperatura; OD: Oxigênio dissolvido

### CL<sub>50</sub> para larvas e juvenis

Os valores calculados para as CL<sub>50</sub> dos diferentes tratamentos com MXD-100 para larvas variaram entre 10,6 (24 h) e 3,8 ppm (96 h), (figura 2) e nos juvenis, entre 132,1 (24 h) e 2,8 ppm (96 h) (figura 3).

Figura 2 - CL<sub>50</sub> do MXD-100 para larvas de *A. altiparanae* nos diferentes períodos de exposição.

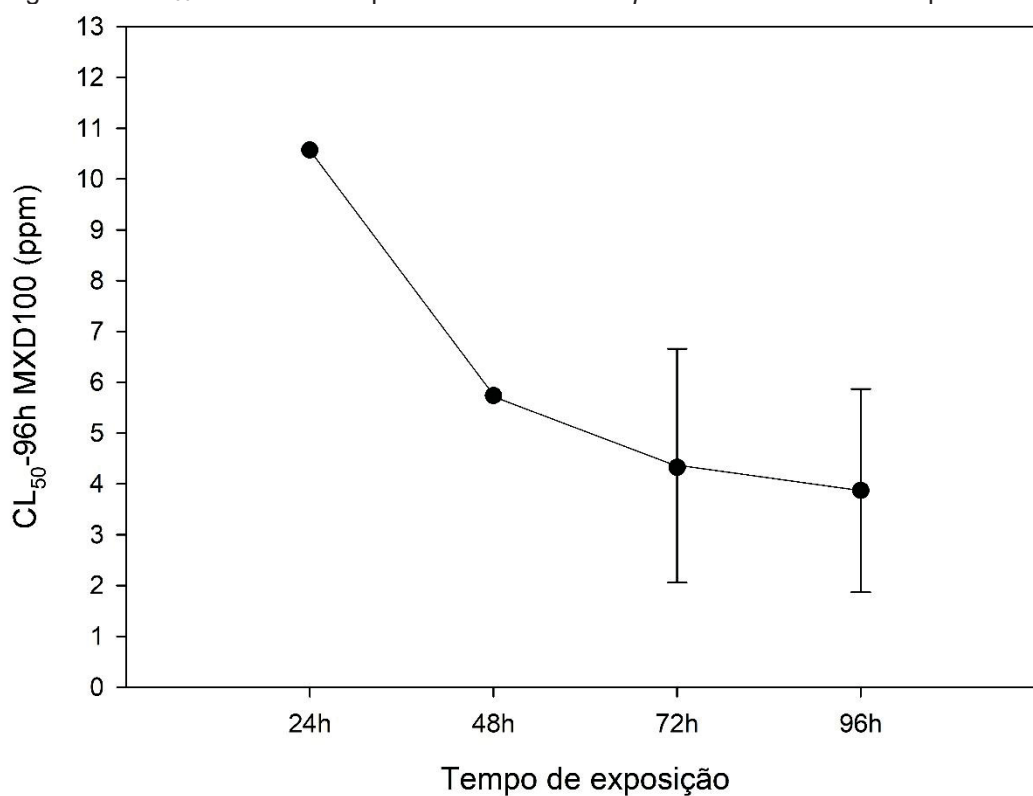
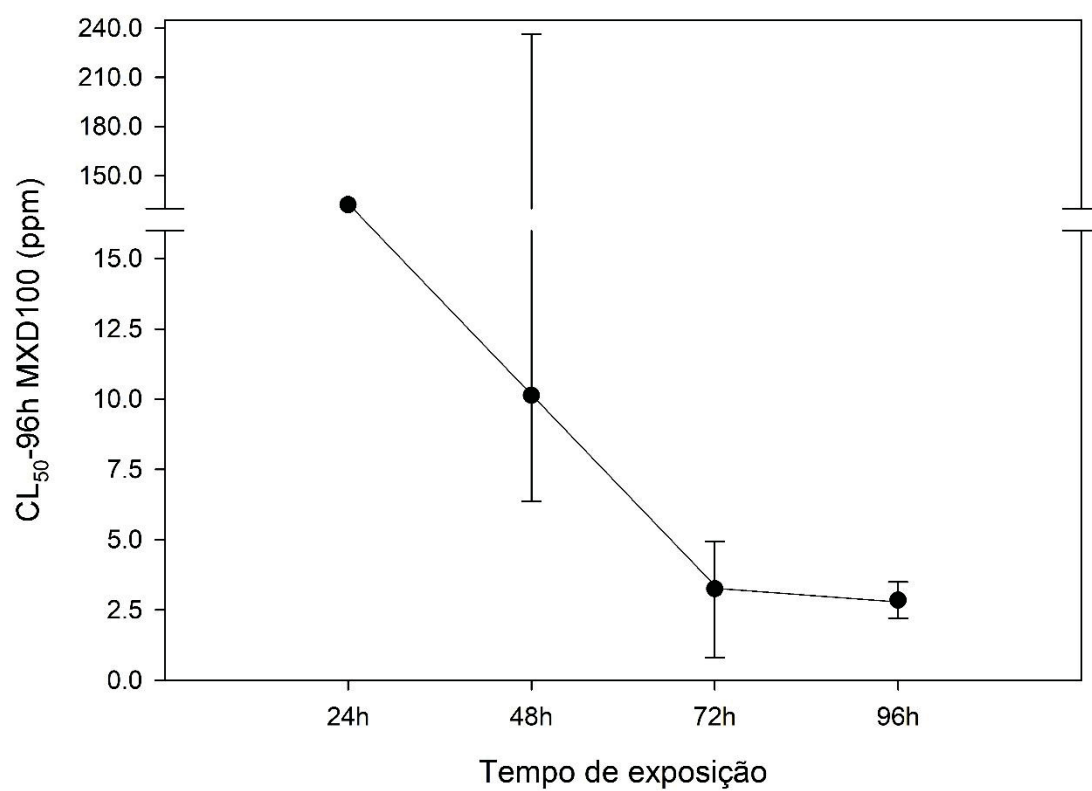


Figura 3 - CL<sub>50</sub> do MXD-100 para juvenis de *A. altiparanae* nos diferentes períodos de exposição.



## DISCUSSÃO

O MXD-100 possui em sua formulação, de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante, dois compostos quaternários de amônia: cloreto de didecil dimetilamônio (DDAC) e cloreto de alquil amido propil dimetil benzil amônio (ADBAC), além de taninos, como principais ingredientes ativos. A concentração dos quaternários de amônia descrita na rotulagem do produto é de 100 g/L (10 %), não informando qual a parcela de cada um deles, assim como não há informações sobre a concentração dos taninos e qual a origem ou composição deles.

Os taninos são polifenóis de origem vegetal solúveis em água (HASLAM, 1966) utilizados em sua maioria como biocidas (MAHADEVAN e MUTHUKUMAR, 1980; CHUNG *et al.*, 1998) e na indústria de processamento do couro (DE NICOLA *et al.*, 2007; ORHON *et al.*, 2009; SERRANO *et al.*, 2009; LIBRALATO *et al.*, 2011) que apresentam natureza dicotômica. Há estudos demonstrando que os taninos possuem efeito hepatotóxico (GOEL e AGRAWAL, 1981; CHUNG e WEI, 1998; IBRAHEM, 2012; NURSYAM *et al.*, 2017), hematotóxico (VARADARAJAN *et al.*, 2014; NURSYAM *et al.*, 2017), carcinogênico (BALAJI e CHOCKALINGAM, 1989; RAMANATHAN *et al.*, 1992), afetam negativamente o sistema imunológico (MIYAMOTO *et al.*, 1988; MARZO *et al.*, 1990) podem atuar como fatores antinutricionais (OKUDA *et al.*, 1982; MOTILVA *et al.*, 1983; SALUNKHE e CHAVAN, 1989; BUTLER e ROGLER, 1992) e demonstram-se tóxicos em testes genéticos (FIELD e LETTINGA, 1987; FIELD *et al.*, 1989), enquanto outros sugerem que esses compostos têm atividade antimicrobiana (SCALBERT, 1991; CHUNG *et al.*, 1993; CHUNG *et al.*, 1995; DE BRUYNE *et al.*, 1999), anticarcinogênica (MIYAMOTO *et al.*, 1987; MUKHTAR *et al.*, 1988; GENSLER *et al.*, 1994; DOLARA *et al.*, 2005; GOSSÉ *et al.*, 2005; FRIDRICH *et al.*, 2007), antimutagênica (YU e SWAMINATHAN, 1987; HORIKAWA *et al.*, 1994), antioxidante (SALUNKHE e CHAVAN, 1989; BUTLER e ROGLER, 1992; GYAMFI e ANIYA, 2002), e são capazes de inibir a infecção viral em células (FUKUCHI *et al.*, 1989; KAKIUCHI *et al.*, 1991; MIZUNO *et al.*, 1992; UBILLAS *et al.*, 1994).

Muito por conta destas características dos taninos, os seus mecanismos de ação ainda não estão claramente elucidados (CHUNG *et al.*, 1998). Porém, sabe-se que eles possuem elevada capacidade de penetração celular e grande afinidade por proteínas, principalmente enzimas, aderindo-se à diversas estruturas biológicas e

afetando o funcionamento das mesmas (DAIBER, 1975; GUPTA e HASLAM, 1979; SCALBERT, 1991; HASLAM, 1996; SERRANO *et al.*, 2009).

A toxicidade aguda de taninos em peixes já foi alvo de alguns estudos (GOEL e AGRAWAL, 1981; TEMMINK *et al.*, 1989; SAHA e KAVIRAJ, 1996; NURSYAM *et al.*, 2017). Os animais utilizados nesses experimentos apresentaram sintomas como: aumento na produção de muco (TEMMINK *et al.*, 1989), redução no apetite (SAHA e KAVIRAJ, 1996), letargia (TEMMINK *et al.*, 1989), e diminuição dos movimentos operculares (TEMMINK *et al.*, 1989; SAHA e KAVIRAJ, 1996). Destes, nenhum foi observado nos animais utilizados no presente estudo. Assim sendo, somando-se ao fato de não terem sua concentração e composição informadas pelo fabricante do MXD-100, não foi possível determinar em qual grau os taninos atuaram para contribuir com a mortalidade, tanto de larvas quanto de juvenis, e se houve ou não uma interação deles com os quaternários de amônia.

Os quaternários de amônia são compostos catiônicos, com natureza anfipática (BARTLETT e KRAMER, 2011; TEZEL e PAVLOSTATHIS, 2015), comumente utilizados como desinfetantes, biocidas e surfactantes (detergentes) (LEWIS e WEE, 1983; COOPER, 1988; RICHTLER e KNAUT, 1989; HENDERSON, 1992; TSAI e DING, 2004) e possuem como principais características: não são hidrolisáveis em meio aquoso, são fotoestáveis, pouco voláteis, possuem grande solubilidade em água (HENDERSON, 1992; JUERGENSEN *et al.*, 2000), se aderem fortemente a substratos que tenham carga negativa (COWAN e WHITE, 1958; XU e BOYD, 1995; TEN HULSCHER e CORNELISSEN, 1996; PATEL, 2009), e alta afinidade com matéria orgânica (SÜTTERLIN, ALEXY, COKER, *et al.*, 2008; VAN WIJK *et al.*, 2009; ISMAIL *et al.*, 2010), se fixando principalmente nos leitos dos rios (FERRER e FURLONG, 2002; KREUZINGER *et al.*, 2007; TERZIC e AHEL, 2011; CHIAIA-HERNANDEZ *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2014) e nos solos (JUERGENSEN *et al.*, 2000; SARKAR *et al.*, 2010; CLARKE e SMITH, 2011; SARKAR *et al.*, 2013).

A despeito de sua conhecida ação antimicrobiana (LAWRENCE, 1970; DAOUD *et al.*, 1983; GILBERT e AL-TAAE, 1985; GARCIA *et al.*, 2001; SÁNCHEZ-FORTÚN *et al.*, 2008; JING *et al.*, 2012), os quaternários de amônia são biodegradáveis em meio aeróbico por uma larga gama de bactérias, principalmente as dos gêneros *Xanthomonas* sp., *Aeromonas* sp. e *Pseudomonas* sp. (NISHIHARA *et al.*, 2000; NISHIYAMA e NISHIHARA, 2002; PATRAUCHAN e ORIEL, 2003;



TAKENAKA *et al.*, 2007; TEZEL e PAVLOSTATHIS, 2011; LIFFOURRENA e LUCCHESI, 2014; OH *et al.*, 2014) e alguns experimentos conduzidos demonstraram que não tendem a se acumular por longos períodos nos organismos, portanto, possuem baixa potencial de bioacumulação (KRZEMINSKI *et al.*, 1973; NEUFAHRT *et al.*, 1978; LEWIS e WEE, 1983; JUERGENSEN *et al.*, 2000; COMBER *et al.*, 2008).

A toxicidade dos diferentes quaternários de amônia sobre os organismos está associada ao mesmo mecanismo de ação: aderem-se às membranas celulares fosfolipídicas causando o rompimento das mesmas, o extravasamento do líquido citoplasmático e subsequente morte celular (MCDONNELL e RUSSELL, 1999; ZINCHENKO *et al.*, 2004; GILBERT e MOORE, 2005; IOANNOU *et al.*, 2007; PÉREZ *et al.*, 2009; WESSELS e INGMER, 2013). O uso concomitante de dois ou mais desses compostos apresenta sinergismo, diminuindo assim a dose letal sobre os organismos se comparado com o uso deles separadamente (SÜTTERLIN, ALEXY e KÜMMERER, 2008; GE *et al.*, 2010; ENZIEN *et al.*, 2011; WONG *et al.*, 2012; YU *et al.*, 2013).

Estudos avaliando a toxicidade aguda desses quaternários de amônia e do MXD-100 em peixes já foram conduzidos em variadas espécies, tanto no estágio larval quanto juvenil, em diferentes estágios de vida e estão compilados na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados dos diferentes experimentos em peixes que avaliaram a toxicidade aguda do MXD-100 e dos quaternários de amônia presentes neste produto.

<b>Espécie</b>	<b>Produto</b>	<b>Período (h)</b>	<b>CL<sub>50</sub> (ppm)</b>	<b>Fase de vida</b>	<b>Fonte</b>
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	24	10,6	Larval	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	24	132,1	Juvenil	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	48	5,7	Larval	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	48	9,6	Juvenil	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	72	4,3	Larval	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	72	3,2	Juvenil	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	96	3,8	Larval	(1)
<i>Astyanax altiparanæ</i>	MXD-100	96	2,8	Juvenil	(1)
<i>Rhamdia quelen</i>	MXD-100	48	0,9	Larval	(COSTA, 2016)
<i>Rhamdia quelen</i>	MXD-100	48	4,5-5,0	Juvenil	(COSTA, 2016)
<i>Pimephales promelas</i>	MXD-100	48	1,0	Larval	(MAXCLEAN, 2010)
Múltiplas <sup>(3)</sup>	MXD-100	48	2,6	Juvenil	(MAXCLEAN, 2010)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	DDAC	96	0,5	Juvenil	(BAILEY et al., 1999)
<i>Acipenser transmontanus</i>	DDAC	96	0,05	Larval <sup>(5)</sup>	(TEH et al., 2003)
<i>Acipenser transmontanus</i>	DDAC	96	0,08 – 0,13	Larval <sup>(6)</sup>	(TEH et al., 2003)
<i>Acipenser transmontanus</i>	DDAC	96	0,1 - 0,25	Juvenil	(TEH et al., 2003)
<i>Oncorhynchus kitsutch</i>	Bardac 2280® <sup>(4)</sup>	96	0,5	Juvenil	(FARRELL et al., 1998)
<i>Pimephales promelas</i>	Bardac 2280®	96	0,3	Juvenil	(FARRELL et al., 1998)

Espécie	Produto	Período (h)	CL <sub>50</sub> (ppm)	Fase de vida	Fonte
<i>Platichthys stellatus</i>	Bardac 2280®	96	2,0	Juvenil	(FARRELL et al., 1998)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	ADBAC	96	1,0	NR <sup>(2)</sup>	(DOBBS et al., 1995)
<i>Menidia beryllina</i>	ADBAC	96	0,9	NR	(DOBBS et al., 1995)
<i>Pimephales promelas</i>	ADBAC	96	0,4	NR	(DOBBS et al., 1995)
<i>Cyprinodon variegatus</i>	ADBAC	96	0,9	NR	(DOBBS et al., 1995)

<sup>(1)</sup> Presente estudo.

<sup>(2)</sup> NR: Não relatada.

<sup>(3)</sup> *Leporinus friderici*, *Prochilodus lineatus*, *Astyanax bimaculatus* e *Myleus tiete*.

<sup>(4)</sup> Biocida contendo 80 % de DDAC.

<sup>(5)</sup> Larvas com 3 dias.

<sup>(6)</sup> Larvas com 42 dias.

Observa-se que os peixes apresentam sensibilidade distinta tanto ao MXD-100 quanto aos quaternários de amônia que o compõem. Com base nesses estudos, pode-se afirmar que *A. altiparanae* demonstra alta tolerância ao produto, tanto na fase larval quanto na fase juvenil.

Chamou também a atenção o fato de que larvas apresentaram menor sensibilidade que os juvenis a partir de 48 h de exposição ao MXD-100. Estes resultados contradizem estudos prévios de diversos autores que constataram que as fases iniciais de desenvolvimento dos peixes tendem a ser mais suscetíveis à exposição aguda a xenobiontes (AUTHMAN *et al.*, 2015; RICHTEROVA *et al.*, 2015; SFAKIANAKIS *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2017). Porém, segundo WESSELS e INGMER (2013), a toxicidade dos quaternários de amônia pode ser diminuída pela composição dos ácidos graxos presentes nas membranas celulares, bem como pela quantidade e atividade de bombas de fluxo de íons presentes nestas membranas. O perfil dessas membranas varia entre as espécies e entre as fases da vida, segundo os mesmos autores. As fases iniciais de desenvolvimento dos peixes também apresentam uma taxa de proliferação celular mais acelerada (KOUMANS e AKSTER, 1995; RESCAN, 2005; ROMBOUT *et al.*, 2005; ZAPATA *et al.*, 2006; MOORE, 2013), o que poderia contribuir para esse processo adaptativo. No experimento conduzido por TEH *et al.* (2003) com DDAC, as larvas de *Acipenser transmontanus* com 42 dias também foram mais tolerantes que os juvenis, o que sugere que, em algumas espécies, nesta fase, em curto período de tempo, os animais podem desenvolver mecanismos adaptativos eficientes frente à exposição aguda à xenobiontes contendo amônia.

Segundo estabelecido pela legislação, a concentração máxima de MXD-100 permitida em sistemas hidráulicos de usinas hidrelétricas é de 7 ppm (IBAMA, 2015). Apesar dessa concentração ser superior à CL<sub>50</sub> em 96 horas observada, dificilmente atingirá diretamente os animais, uma vez que nesses sistemas a presença de peixes é improvável, tanto na fase larval quanto juvenil. O volume gerado pelo efluente dos sistemas de resfriamento também é baixo se comparado à vazão à jusante de uma usina hidrelétrica, o que certamente dilui ainda mais o MXD-100 no meio. Por isso, é muito pouco provável que o uso de MXD-100 para o controle de *L. fortunei* em sistemas de resfriamentos de usinas hidrelétricas, cause impactos ambientais

significativos, desde que seguidas as condições de uso estabelecidas pela legislação vigente.

## REFERÊNCIAS

- AUTHMAN, M. M. et al. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. **Journal of Aquaculture Research & Development**, v. 6, n. 4, p. 1, 2015. ISSN 2155-9546.
- BAILEY, H. C. et al. Acute toxicity of the antiseptic chemicals DDAC and IPBC, alone and in combination, to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Water Research**, v. 33, n. 10, p. 2410-2414, 1999/07/01/ 1999. ISSN 0043-1354. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135498004576> >.
- BALAJI, A.; CHOCKALINGAM, S. Acute toxicity of tannic acid on the haematological parameters in *Labeo rohita*. Proceedings of National Symposium on Emerging Trends in Animal Haematology, 1989, Patna University Patna. p.24-27.
- BARBOSA, F. G.; MELO, A. S. Modelo preditivo de sobrevivência do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*) em relação a variações de salinidade na Laguna dos Patos, RS, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 9, p. 407-412, 2009. ISSN 1676-0603. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1676-06032009000300037&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032009000300037&nrm=iso) >.
- BARTLETT, K.; KRAMER, J. Comparative performance of industrial water treatment biocides. CORROSION 2011, 2011, NACE International.
- BELZ, C. E. **Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) : um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná**. 2006. 102 Tese (Doutor). Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRASIL. **PORTARIA Nº 494, DE 16 DE OUTUBRO DE 2015**. PROJETOS, S.-A. D. Brasília: Diário Oficial da União. 494: 2 p. 2015.
- BURGGREN, W.; ROBERTS, J. Respiration and metabolism. **Environmental and metabolic animal physiology**, p. 353-435, 1991.
- BUTLER, L. G.; ROGLER, J. C. Biochemical mechanisms of the antinutritional effects of tannins. In: (Ed.): ACS Publications, 1992. ISBN 1947-5918.
- CHIAIA-HERNANDEZ, A. C.; KRAUSS, M.; HOLLENDER, J. Screening of lake sediments for emerging contaminants by liquid chromatography atmospheric pressure photoionization and electrospray ionization coupled to high resolution mass spectrometry. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 2, p. 976-986, 2012. ISSN 0013-936X.
- CHUNG, K.-T.; WEI, C.-I.; JOHNSON, M. G. Are tannins a double-edged sword in biology and health? **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 4, p. 168-175, 1998. ISSN 0924-2244.
- CHUNG, K.-T.; WEI, C.-I. Tannins and human health: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 38, n. 6, p. 421-464, 1998. ISSN 1040-8398.

CHUNG, K.-T; WEI, C.-I. et al. Growth inhibition of selected aquatic bacteria by tannic acid and related compounds. **Journal of Aquatic Animal Health**, v. 7, n. 1, p. 46-49, 1995. ISSN 0899-7659.

CHUNG, K. T. et al. Growth inhibition of selected food-borne bacteria by tannic acid, propyl gallate and related compounds. **Letters in Applied Microbiology**, v. 17, n. 1, p. 29-32, 1993. ISSN 1472-765X.

CLARKE, B. O.; SMITH, S. R. Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. **Environment international**, v. 37, n. 1, p. 226-247, 2011. ISSN 0160-4120.

COMBER, S. et al. Bioaccumulation and toxicity of a cationic surfactant (DODMAC) in sediment dwelling freshwater invertebrates. **Environmental pollution**, v. 153, n. 1, p. 184-191, 2008. ISSN 0269-7491.

COOPER, J. C. Review of the environmental toxicity of quaternary ammonium halides. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 16, n. 1, p. 65-71, 1988. ISSN 0147-6513.

COSTA, P. G. **Efeito toxicológico da exposição aguda e crônica do anti-incrustante MXD-100® sobre o jundiá (Rhamdia quelen)**. 2016. 27 Dissertação (Mestre). Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Plataforma Sucupira.

COWAN, C.; WHITE, D. The mechanism of exchange reactions occurring between sodium montmorillonite and various n-primary aliphatic amine salts. **Transactions of the Faraday Society**, v. 54, p. 691-697, 1958.

DAIBER, K. H. Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 9, p. 1399-1411, 1975. ISSN 1097-0010.

DAL PONT, G. **Toxicidade do óleo diesel para o peixe Astyanax Altiparanae**. 2012. 112 Dissertação (Mestrado). Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

DAOUD, N. N.; DICKINSON, N.; GILBERT, P. Antimicrobial activity and physico-chemical properties of some alkyl dimethylbenzylammonium chlorides. **Microbios**, v. 37, n. 148, p. 73-85, 1983. ISSN 0026-2633.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. **INTRODUÇÃO A BIOLOGIA DAS INVASÕES: O Mexilhão Dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle**. São Carlos: Editora Cubo, 2009. 246 Disponível em: < [http://www.malacologia.com.ar/Introducao\\_a%20Biologia\\_das\\_Invasoes.pdf](http://www.malacologia.com.ar/Introducao_a%20Biologia_das_Invasoes.pdf) >.

DARRIGRAN, G.; EZCURRA DE DRAGO, I. **Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America**. 2000. 69-73.

DE BRUYNE, T. et al. Condensed vegetable tannins: biodiversity in structure and biological activities. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 27, n. 4, p. 445-459, 1999. ISSN 0305-1978.

DE NICOLA, E. et al. Vegetable and synthetic tannins induce hormesis/toxicity in sea urchin early development and in algal growth. **Environmental pollution**, v. 146, n. 1, p. 46-54, 2007. ISSN 0269-7491.

DOBBS, M. et al. **Environmental assessment of an alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride (ADBAC) based molluscicide using laboratory tests**. Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (United States). 1995

DOLARA, P. et al. Red wine polyphenols influence carcinogenesis, intestinal microflora, oxidative damage and gene expression profiles of colonic mucosa in F344 rats. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 591, n. 1, p. 237-246, 2005. ISSN 0027-5107.

ENZIEN, M. V. et al. Improved microbial control programs for hydraulic fracturing fluids used during unconventional shale-gas exploration and production. SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2011, Society of Petroleum Engineers.

FARRELL, A. P. et al. Acute toxicity of a didecyldimethylammonium chloride-based wood preservative, bardac 2280, to aquatic species. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 17, n. 8, p. 1552-1557, 1998. ISSN 1552-8618.

FERRER, I.; FURLONG, E. T. Accelerated solvent extraction followed by on-line solid-phase extraction coupled to ion trap LC/MS/MS for analysis of benzalkonium chlorides in sediment samples. **Analytical chemistry**, v. 74, n. 6, p. 1275-1280, 2002. ISSN 0003-2700.

FIELD, J.; KORTEKAAS, S.; LETTINGA, G. The tannin theory of methanogenic toxicity. **Biological Wastes**, v. 29, n. 4, p. 241-262, 1989. ISSN 0269-7483.

FIELD, J.; LETTINGA, G. The methanogenic toxicity and anaerobic degradability of a hydrolyzable tannin. **Water Research**, v. 21, n. 3, p. 367-374, 1987. ISSN 0043-1354.

FRIDRICH, D. et al. Apple polyphenols diminish the phosphorylation of the epidermal growth factor receptor in HT29 colon carcinoma cells. **Molecular nutrition & food research**, v. 51, n. 5, p. 594-601, 2007. ISSN 1613-4133.

FUKUCHI, K. et al. Inhibition of herpes simplex virus infection by tannins and related compounds. **Antiviral research**, v. 11, n. 5-6, p. 285-297, 1989. ISSN 0166-3542.

GARCIA, M. et al. Fate and effect of monoalkyl quaternary ammonium surfactants in the aquatic environment. **Environmental Pollution**, v. 111, n. 1, p. 169-175, 2001. ISSN 0269-7491.



GE, F. et al. Joint action of binary mixtures of cetyltrimethyl ammonium chloride and aromatic hydrocarbons on *Chlorella vulgaris*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 73, n. 7, p. 1689-1695, 2010. ISSN 0147-6513.

GENSLER, H. L. et al. Prevention of photocarcinogenesis and UV-induced immunosuppression in mice by topical tannic acid. 1994. ISSN 0163-5581.

GILBERT, P.; AL-TAAE, A. Antimicrobial activity of some alkyltrimethylammonium bromides. **Letters in applied microbiology**, v. 1, n. 6, p. 101-104, 1985. ISSN 1472-765X.

GILBERT, P.; MOORE, L. Cationic antiseptics: diversity of action under a common epithet. **Journal of applied microbiology**, v. 99, n. 4, p. 703-715, 2005. ISSN 1365-2672.

GOEL, B.; AGRAWAL, V. Tannic acid-induced biochemical changes in the liver of two teleost fishes, *Clarias batrachus* and *Ophiocephalus punctatus*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 5, n. 4, p. 418-423, 1981. ISSN 0147-6513.

GOSSÉ, F. et al. Chemopreventive properties of apple procyanidins on human colon cancer-derived metastatic SW620 cells and in a rat model of colon carcinogenesis. **Carcinogenesis**, v. 26, n. 7, p. 1291-1295, 2005. ISSN 1460-2180.

GUPTA, R.; HASLAM, E. Vegetable tannins: structure and biosynthesis. Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium, 1979, IDRC, Ottawa, ON, CA.

GYAMFI, M. A.; ANIYA, Y. Antioxidant properties of Thonningianin A, isolated from the African medicinal herb, *Thonningia sanguinea*. **Biochemical pharmacology**, v. 63, n. 9, p. 1725-1737, 2002. ISSN 0006-2952.

HASLAM, E. Chemistry of vegetable tannins. **Chemistry of vegetable tannins.**, 1966.

\_\_\_\_\_. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. **Journal of natural products**, v. 59, n. 2, p. 205-215, 1996. ISSN 0163-3864.

HENDERSON, N. D. **A review of the environmental impact and toxic effects of DDAC**. Citeseer, 1992. ISBN 0772616140.

HORIKAWA, K. et al. Moderate inhibition of mutagenicity and carcinogenicity of benzo [a] pyrene, 1, 6-dinitropyrene and 3, 9-dinitrofluoranthene by Chinese medicinal herbs. **Mutagenesis**, v. 9, n. 6, p. 523-526, 1994. ISSN 0267-8357.

IBAMA. **Certificado de registro como agrotóxico e afins para uso emergencial no controle do Mexilhão-Dourado – *Limnoperna fortunei* em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. FEDERAL, S. P.; MMA, M. D. M. A.-., et al. Brasília: Diário Oficial da União. 6925/15 2016.

IBAMA, I. B. D. M. A. E. D. R. N. R. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº- 17, DE 21 DE OUTUBRO DE 2015**. RENOVÁVEIS, I. B. D. M. A. E. D. R. N. Brasília DF: Diário Oficial da União. 17 2015.

IBRAHEM, M. D. Experimental exposure of African catfish *Clarias Gariepinus* (Burchell, 1822) to phenol: Clinical evaluation, tissue alterations and residue assessment. **Journal of Advanced Research**, v. 3, n. 2, p. 177-183, 2012. ISSN 2090-1232.

IOANNOU, C. J.; HANLON, G. W.; DENYER, S. P. Action of disinfectant quaternary ammonium compounds against *Staphylococcus aureus*. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 51, n. 1, p. 296-306, 2007. ISSN 0066-4804.

ISMAIL, Z. Z.; TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S. G. Sorption of quaternary ammonium compounds to municipal sludge. **Water research**, v. 44, n. 7, p. 2303-2313, 2010. ISSN 0043-1354.

JING, G.; ZHOU, Z.; ZHUO, J. Quantitative structure–activity relationship (QSAR) study of toxicity of quaternary ammonium compounds on *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus quadricauda*. **Chemosphere**, v. 86, n. 1, p. 76-82, 2012. ISSN 0045-6535.

JUERGENSEN, L. et al. Fate, behavior, and aquatic toxicity of the fungicide DDAC in the Canadian environment. **Environmental Toxicology**, v. 15, n. 3, p. 174-200, 2000. ISSN 1520-4081.

KAKIUCHI, N. et al. Effect of condensed tannins and related compounds on reverse transcriptase. **Phytotherapy Research**, v. 5, n. 6, p. 270-272, 1991. ISSN 1099-1573.

KOUMANS, J.; AKSTER, H. Myogenic cells in development and growth of fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 110, n. 1, p. 3-20, 1995. ISSN 0300-9629.

KREUZINGER, N. et al. Methodological approach towards the environmental significance of uncharacterized substances—quaternary ammonium compounds as an example. **Desalination**, v. 215, n. 1-3, p. 209-222, 2007. ISSN 0011-9164.

KRZEMINSKI, S.; MARTIN, J.; BRACKETT, C. The environmental impact of a quaternary ammonium bactericide. **Household Pers Prod Ind**, v. 10, p. 22-24, 1973.

LAWRENCE, C. Germicidal properties of cationic surfactants. In: (Ed.). **Cationic surfactants**: Marcel Dekker, New York, 1970. p.491-526.

LEWIS, M. A.; WEE, V. T. Aquatic safety assessment for cationic surfactants. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 105-118, 1983. ISSN 1552-8618.

LI, X. et al. Occurrence of quaternary ammonium compounds (QACs) and their application as a tracer for sewage derived pollution in urban estuarine sediments. **Environmental pollution**, v. 185, p. 127-133, 2014. ISSN 0269-7491.

LIBRALATO, G.; AVEZZÙ, F.; GHIRARDINI, A. V. Lignin and tannin toxicity to *Phaeodactylum tricornutum* (Bohlin). **Journal of hazardous materials**, v. 194, p. 435-439, 2011. ISSN 0304-3894.

LIFFOURRENA, A. S.; LUCCHESI, G. I. Identification, cloning and biochemical characterization of *Pseudomonas putida* A (ATCC 12633) monooxygenase enzyme necessary for the metabolism of tetradecyltrimethylammonium bromide. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 173, n. 2, p. 552-561, 2014. ISSN 0273-2289.

MÄDER-NETTO, O. S. **Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. 2011. 113 Mestrado (Mestre). Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAHADEVAN, A.; MUTHUKUMAR, G. Aquatic microbiology with reference to tannin degradation. **Hydrobiologia**, v. 72, n. 1-2, p. 73-79, 1980. ISSN 0018-8158.

MARTINEZ, C. B.; SOUZA, M. M. Acute effects of nitrite on ion regulation in two neotropical fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 1, p. 151-160, 2002. ISSN 1095-6433.

MARZO, F.; TOSAR, A.; SANTIDRIAN, S. Effect of tannic acid on the immune response of growing chickens. **Journal of animal science**, v. 68, n. 10, p. 3306-3312, 1990. ISSN 0021-8812.

MAXCLEAN, A. Q. S. A. **FICHA DE INFORMAÇÃO E SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO - MXD100**: MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A: 2 p. 2010.

MCDONNELL, G.; RUSSELL, A. D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. **Clinical microbiology reviews**, v. 12, n. 1, p. 147-179, 1999. ISSN 0893-8512.

MIYAMOTO, K.-I. et al. Induction of cytotoxicity of peritoneal exudate cells by agrimoniin, a novel immunomodulatory tannin of *Agrimonia pilosa* Ledeb. **Cancer Immunology, Immunotherapy**, v. 27, n. 1, p. 59-62, 1988. ISSN 0340-7004.

MIYAMOTO, K. et al. Relationship between the structures and the antitumor activities of tannins. **Chemical and pharmaceutical bulletin**, v. 35, n. 2, p. 814-822, 1987. ISSN 0009-2363.

MIZUNO, T. et al. Inhibitory effect of tannic acid sulfate and related sulfates on infectivity, cytopathic effect, and giant cell formation of human immunodeficiency virus. **Planta medica**, v. 58, n. 06, p. 535-539, 1992. ISSN 0032-0943.

MME, M. D. M. E. E. D. B. **Balanco Energético Nacional - Capacidade Instalada - Série Histórica**. Brasília: MME 2016.

MOORE, M. A. Ontogeny of the hematopoietic system. In: (Ed.). **Handbook of Stem Cells (Second Edition)**: Elsevier, 2013. p.533-551.

MOTILVA, M. J. et al. Effect of extracts from bean (*phaseolus vulgaris*) and field bean (*vicia faba*) varieties on intestinal D-glucose transport in rat in vivo. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 34, n. 3, p. 239-246, 1983. ISSN 1097-0010.

MUKHTAR, H. et al. Exceptional activity of tannic acid among naturally occurring plant phenols in protecting against 7, 12-dimethylbenz (a) anthracene-, benzo (a) pyrene-, 3-methylcholanthrene-, and N-methyl-N-nitrosourea-induced skin tumorigenesis in mice. **Cancer research**, v. 48, n. 9, p. 2361-2365, 1988. ISSN 0008-5472.

NEUFAHRT, A. et al. Aspect of the environmental safety of distearyl dimethyl ammonium chloride (DSDMAC), 6th report. **Tracer studies on sewage sludge and carp**, 1978.

NISHIHARA, T.; OKAMOTO, T.; NISHIYAMA, N. Biodegradation of didecyltrimethylammonium chloride by *Pseudomonas fluorescens* TN4 isolated from activated sludge. **Journal of Applied microbiology**, v. 88, n. 4, p. 641-647, 2000. ISSN 1365-2672.

NISHIYAMA, N.; NISHIHARA, T. Biodegradation of dodecyltrimethylammonium bromide by *Pseudomonas fluorescens* F7 and F2 isolated from activated sludge. **Microbes and environments**, v. 17, n. 4, p. 164-169, 2002. ISSN 1342-6311.

NURSYAM, H.; ANDAYANI, S.; SAPUTRA, A. The effect of tannin from red betel (*Piper crocatum*) leaves towards blood biochemistry and histology of North African catfish (*Clarias gariepinus*). **AACL Bioflux**, v. 10, n. 5, p. 1386-1393, 2017. ISSN 1844-8143.

OH, S. et al. Microbial community degradation of widely used quaternary ammonium disinfectants. **Applied and environmental microbiology**, v. 80, n. 19, p. 5892-5900, 2014. ISSN 0099-2240.

OKUDA, T. et al. Effect of the interaction of tannins with coexisting substances. II. Reduction of heavy metal ions and solubilization of precipitates. **Yakugaku zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan**, v. 102, n. 8, p. 735, 1982. ISSN 0031-6903.

ORHON, D.; BABUNA, F. G.; KARAHAN, O. **Industrial wastewater treatment by activated sludge**. IWA Publishing, 2009. ISBN 1843391449.

PASTORINO, G. et al. **Limnoperna fortunei (Dunker, 1857)(Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata**. 1993

PATEL, A. D. Design and development of quaternary amine compounds: shale inhibition with improved environmental profile. SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2009, Society of Petroleum Engineers.

PATRAUCHAN, M.; ORIEL, P. Degradation of benzyldimethylalkylammonium chloride by *Aeromonas hydrophila* sp. K. **Journal of applied microbiology**, v. 94, n. 2, p. 266-272, 2003. ISSN 1365-2672.

PEJCHAR, L.; MOONEY, H. A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 9, p. 497-504, 2009/09/01/ 2009. ISSN 0169-5347. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709001761> >.

PENAFORTE, L. R. **INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, LIMNOPERNA FORTUNEI (DUNKER, 1857): IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS**. 2014. 65 Monografia (Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos). INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PÉREZ, P.; FERNÁNDEZ, E.; BEIRAS, R. Toxicity of benzalkonium chloride on monoalgal cultures and natural assemblages of marine phytoplankton. **Water, air, and soil pollution**, v. 201, n. 1-4, p. 319-330, 2009. ISSN 0049-6979.

PESTANA, D. et al. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)**, v. 50, p. 553-559, 2010. ISSN 0031-1049. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso) >.

PIMENTEL, D.; ZUNIGA, R.; MORRISON, D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. **Ecological Economics**, v. 52, n. 3, p. 273-288, 2005/02/15/ 2005. ISSN 0921-8009. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904003027> >.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**, v. 2, p. 101-116, 2005.

RAMANATHAN, R.; TAN, C. H.; DAS, N. P. Tannic acid promotes benzo[a]pyrene-induced mouse skin carcinogenesis at low concentrations. **Medical Science Research**, v. 20, n. 19, p. 711-712, 1992. Disponível em: <  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026658845&partnerID=40&md5=0965b59ed8fff6c0560211429a3e8f75> >.

RESCAN, P. Muscle growth patterns and regulation during fish ontogeny. **General and comparative endocrinology**, v. 142, n. 1-2, p. 111-116, 2005. ISSN 0016-6480.

RICHTEROVA, Z. et al. Effects of a cypermethrin-based pesticide on early life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Veterinarni Medicina**, v. 60, n. 8, 2015. ISSN 0375-8427.

RICHTLER, H.; KNAUT, J. World prospects for surfactants. **Parfümerie und Kosmetik**, v. 70, n. 1, 1989. ISSN 0031-1952.

ROMBOUT, J. et al. Phylogeny and ontogeny of fish leucocytes. **Fish & shellfish immunology**, v. 19, n. 5, p. 441-455, 2005. ISSN 1050-4648.

SAHA, N.; KAVIRAJ, A. Acute and chronic toxicity of tannic acid and spent bark of cinchona to tilapia *Oreochromis mossambicus*. **Aquaculture**, v. 145, n. 1-4, p. 119-127, 1996. ISSN 0044-8486.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. **Dietary tannins: consequences and remedies**. CRC Press, 1989. ISBN 0849368111.

SÁNCHEZ-FORTÚN, S. et al. Inhibition of growth and photosynthesis of selected green microalgae as tools to evaluate toxicity of dodecylethyldimethyl-ammonium bromide. **Ecotoxicology**, v. 17, n. 4, p. 229-234, 2008. ISSN 0963-9292.

SARKAR, B. et al. Toxicity of organoclays to microbial processes and earthworm survival in soils. **Journal of hazardous materials**, v. 261, p. 793-800, 2013. ISSN 0304-3894.

SARKAR, B. et al. Sorption of quaternary ammonium compounds in soils: implications to the soil microbial activities. **Journal of hazardous materials**, v. 184, n. 1-3, p. 448-456, 2010. ISSN 0304-3894.

SCALBERT, A. Antimicrobial properties of tannins. **Phytochemistry**, v. 30, n. 12, p. 3875-3883, 1991. ISSN 0031-9422.

SERRANO, J. et al. Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. **Molecular nutrition & food research**, v. 53, n. S2, 2009. ISSN 1613-4133.

SFAKIANAKIS, D. G. et al. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. **Environmental Research**, v. 137, p. 246-255, 2015/02/01/ 2015. ISSN 0013-9351.  
Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114004654> >.

SÜTTERLIN, H. et al. Mixtures of quaternary ammonium compounds and anionic organic compounds in the aquatic environment: elimination and biodegradability in the closed bottle test monitored by LC-MS/MS. **Chemosphere**, v. 72, n. 3, p. 479-484, 2008. ISSN 0045-6535.

SÜTTERLIN, H.; ALEX, R.; KÜMMERER, K. The toxicity of the quaternary ammonium compound benzalkonium chloride alone and in mixtures with other anionic compounds to bacteria in test systems with *Vibrio fischeri* and *Pseudomonas putida*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 71, n. 2, p. 498-505, 2008. ISSN 0147-6513.

TAKENAKA, S. et al. Adaptation of *Pseudomonas* sp. strain 7-6 to quaternary ammonium compounds and their degradation via dual pathways. **Applied and environmental microbiology**, v. 73, n. 6, p. 1797-1802, 2007. ISSN 0099-2240.



TEH, S. J. et al. Lethal and sublethal toxicity of didecyldimethylammonium chloride in early life stages of white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 22, n. 9, p. 2152-2158, 2003. ISSN 1552-8618.

TEMMINK, J. et al. Acute and sub-acute toxicity of bark tannins in carp (*Cyprinus carpio* L.). **Water Research**, v. 23, n. 3, p. 341-344, 1989. ISSN 0043-1354.

TEN HULSCHER, T. E.; CORNELISSEN, G. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants-a review. **Chemosphere**, v. 32, n. 4, p. 609-626, 1996. ISSN 0045-6535.

TERZIC, S.; AHEL, M. Nontarget analysis of polar contaminants in freshwater sediments influenced by pharmaceutical industry using ultra-high-pressure liquid chromatography–quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **Environmental pollution**, v. 159, n. 2, p. 557-566, 2011. ISSN 0269-7491.

TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S. G. Role of quaternary ammonium compounds on antimicrobial resistance in the environment. **Antimicrobial resistance in the environment**, p. 349-387, 2011.

\_\_\_\_\_. Quaternary ammonium disinfectants: microbial adaptation, degradation and ecology. **Current opinion in biotechnology**, v. 33, p. 296-304, 2015. ISSN 0958-1669.

TSAI, P.-C.; DING, W.-H. Determination of alkyltrimethylammonium surfactants in hair conditioners and fabric softeners by gas chromatography–mass spectrometry with electron-impact and chemical ionization. **Journal of Chromatography A**, v. 1027, n. 1-2, p. 103-108, 2004. ISSN 0021-9673.

UBILLAS, R. et al. SP-303, an antiviral oligomeric proanthocyanidin from the latex of *Croton lechleri* (Sangre de Drago). **Phytomedicine**, v. 1, n. 2, p. 77-106, 1994. ISSN 0944-7113.

VAN WIJK, D. et al. Bioavailability and detoxification of cationics: I. Algal toxicity of alkyltrimethyl ammonium salts in the presence of suspended sediment and humic acid. **Chemosphere**, v. 75, n. 3, p. 303-309, 2009. ISSN 0045-6535.

VARADARAJAN, R. et al. Sublethal effects of phenolic compounds on biochemical, histological and ionoregulatory parameters in a tropical teleost fish *Oreochromis mossambicus* (Peters). **Int J Sci Res Pub**, v. 4, n. 3, p. 1-12, 2014.

WESSELS, S.; INGMER, H. Modes of action of three disinfectant active substances: a review. **Regulatory toxicology and pharmacology**, v. 67, n. 3, p. 456-467, 2013. ISSN 0273-2300.

WONG, S. et al. Biological properties of sodium alkyl methyl ester sulfonate/alkyltrimethylammonium bromide surfactant mixtures. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 89, p. 48-52, 2012. ISSN 0927-7765.

XU, S.; BOYD, S. A. Cationic surfactant sorption to a vermiculitic subsoil via hydrophobic bonding. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 2, p. 312-320, 1995. ISSN 0013-936X.

YU, C.-L.; SWAMINATHAN, B. Mutagenicity of proanthocyanidins. **Food and chemical toxicology**, v. 25, n. 2, p. 135-139, 1987. ISSN 0278-6915.

YU, F. et al. Subcellular distribution of fluoranthene in *Chlorella vulgaris* with the presence of cetyltrimethylammonium chloride. **Chemosphere**, v. 90, n. 3, p. 929-935, 2013. ISSN 0045-6535.

ZAPATA, A. et al. Ontogeny of the immune system of fish. **Fish & shellfish immunology**, v. 20, n. 2, p. 126-136, 2006. ISSN 1050-4648.

ZHAO, Y. et al. Comparative developmental toxicity of eight typical organic pollutants to red sea bream (*Pagrosomus major*) embryos and larvae. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 10, p. 9067-9078, April 01 2017. ISSN 1614-7499. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6282-4> >.

ZINCHENKO, A. A. et al. DNA compaction by divalent cations: structural specificity revealed by the potentiality of designed quaternary diammonium salts. **ChemBioChem**, v. 5, n. 3, p. 360-368, 2004. ISSN 1439-7633.



### **CAPÍTULO III – TOXICIDADE AGUDA DO CLORO RESIDUAL LIVRE PARA LARVAS E JUVENIS DE *Astyanax altiparanae* EM CONDIÇÕES LABORATORIAIS**

#### **RESUMO**

A cloração da água é um dos métodos químicos mais utilizados para o controle de *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) em sistema de resfriamento de usinas hidrelétricas. No Brasil, o produto licenciado emergencial e provisoriamente para aplicação deste método é o dicloroisocianurato de sódio. A toxicidade desse produto é decorrente da presença de cloro residual livre (CRL) dissociado que o mesmo produz quando adicionado à água. O presente estudo teve como foco avaliar a toxicidade aguda do CRL sobre larvas e juvenis de *Astyanax altiparanae* (lambari-do-rabo-amarelo). Os juvenis foram mantidos em unidades experimentais com 4 L de volume útil e expostos às seguintes concentrações de CRL: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 ppm. As larvas foram mantidas em poços de placas de cultivo celular, com 10 ml de volume útil em cada poço e expostas ao CRL nas seguintes concentrações: 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 e 0,25 ppm. Em ambos os experimentos havia um tratamento controle em que não havia presença de níveis detectáveis de CRL na água. A mortalidade dos juvenis e das larvas foi documentada às 2, 24, 26, 48, 50, 72, 74 e 96 h após o início dos experimentos para o cálculo da CL<sub>50</sub> do CRL. Para os juvenis, observou uma CL<sub>50</sub> que variou de 0,6 ppm (24 h) a 0,11 ppm (96 h). Para as larvas, a CL<sub>50</sub> do CRL constatada oscilou de 0,32 (24 h) a 0,07 (96 h).

**Palavras-chave:** CL<sub>50</sub>, dicloroisocianurato de sódio, cloração.

## ABSTRACT

Water chlorination is one of the most used methods for the control of *Limnoperna fortunei* (golden mussel) cooling systems of hydroelectric power plants. In Brazil, the emergency and provisionally licensed product for the application of this method is sodium dichloroisocyanurate. The toxicity of this product is due to the presence of dissociated free residual chlorine (FRC) that this product is able to produce when added in water. The present study aimed to evaluate the acute toxicity of FRC on larvae and juveniles of *Astyanax altiparanae* (lambari-do-rabo-amarelo). Juveniles were kept in experimental units with 4 L volume and exposed to the following concentrations of FRC: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ppm. The larvae were maintained in cell culture plate size 6 wells, with 10 ml of volume in each well and exposed to the FRC in the following concentrations: 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 and 0.25 ppm. In both experiments there was a control treatment in which there was no detectable levels of FRC in the water. Mortality of juveniles and larvae was documented at 2, 24, 26, 48, 50, 72, 74 and 96 h after the start of the experiments to calculate the LC<sub>50</sub> of the FRC. For juveniles, it observed an LC<sub>50</sub> ranging from 0.6 ppm (24 h) to 0.11 ppm (96 h). For larvae, the observed FRC LC<sub>50</sub> ranged from 0.32 (24 h) to 0.07 (96 h).

**Keywords:** LC<sub>50</sub>, sodium dichloroisocyanurate, chlorination.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a matriz de energia elétrica é fortemente dependente de fontes hidrelétricas (LIMA, 2001; GOLDEMBERG e MOREIRA, 2005; DOS REIS, 2015). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2016), em 2016, o Brasil possuía uma capacidade instalada de geração elétrica de cerca de 150 mil MW. Deste total, aproximadamente 61% são provenientes de usinas hidrelétricas com potência instalada acima de 30 MW (UHE).

As UHE's instaladas em várias regiões do país vêm sofrendo com problemas causados por organismos incrustantes, que afetam principalmente seus sistemas de resfriamento, levando a um aumento na frequência das manutenções e, conseqüentemente, dos custos operacionais (CARVALHO, 2008; MÄDER-NETTO, 2011). Os maiores problemas estão associados à presença do *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) (RICCIARDI, 1998; MANSUR *et al.*, 2004), um molusco bivalve de água doce, autóctone no sudeste asiático (BELZ *et al.*, 2010). Desde 1991 a espécie vem colonizando e invadindo as principais bacias hidrográficas do sul da América do Sul, transportada através da água de lastro de navios que desembarcavam em portos do estuário do Rio da Prata (PASTORINO *et al.*, 1993; DARRIGRAN e EZCURRA DE DRAGO, 2000). Estima-se que sua velocidade de dispersão seja, em média, de 240 km/ano (DE OLIVEIRA, 2003). Em território nacional, os primeiros registros da presença de *L. fortunei* datam de 1999 (DARRIGRAN *et al.*, 1999), estando atualmente a espécie presente em 8 dos 27 estados nacionais (PESSOTTO e NOGUEIRA, 2018).

Em 2016, os recursos aplicados na manutenção das UHE's brasileiras corresponderam a cerca de 20% dos custos operacionais das usinas (ELETROBRAS, 2016). Em Itaipu, uma das maiores usinas hidrelétricas do mundo (ARCE *et al.*, 2002; OLDANI e BAIGÚN, 2002; GAO *et al.*, 2013), a presença do *L. fortunei* alterou a rotina de manutenção dos sistemas de resfriamento da usina, reduzindo o intervalo entre as paralisações implicando em custos que chegaram a quase US\$ 1 milhão para cada dia de paralisação de uma turbina (COLLYER, 2007).

Na tentativa de reduzir os níveis de bioincrustação e os impactos operacionais associados, diversas substâncias químicas têm sido utilizadas para o controle do *L. fortunei* em sistemas hidráulicos, como: cloro gasoso, dióxido de cloro, dicloroisocianurato de sódio, ozônio, peróxido de hidrogênio, hidróxido de sódio, quaternários de amônia, poliquaternários, niclosamidas, hidrocarbonetos aromáticos, sais de potássio e tintas antiincrustantes (PENAFORTE, 2014). O cloro é um dos produtos mais amplamente utilizados para este fim (MAROÑAS e DAMBORENEA, 2009) em função de suas características como agente desinfetante (BRUNGS, 1973) ou oxidante (BARBEAU *et al.*, 2005).

O uso de cloro e, mais especificamente, do dicloroisocianurato de sódio anidro (CAS N° 2893-78-9) para controle de *L. fortunei* em instalações hidráulicas de UHE's, foi regulamentado, em caráter emergencial e provisório (com validade de dois anos), pela Instrução Normativa (IN) do IBAMA N°18/2015 (IBAMA, 2015), presente na Portaria N° 494, de 16 de outubro de 2015 (BRASIL, 2015). Esta IN estabelece em seu anexo II, as condições e restrições de uso do mesmo:

b.) Dose e frequência de aplicação: injeção de solução de dicloroisocianurato de sódio, com a concentração de 1,5 mg/L de cloro livre, diretamente na água do sistema de resfriamento, durante duas horas por dia, com concentração máxima de 0,01 mg/l de cloro residual na saída do efluente.

c.) Modo de aplicação: a aplicação do produto deverá ser feita com o uso de sistema de controle acoplado ao sistema de resfriamento das unidades geradoras da usina hidrelétrica, composto por três unidades distintas que atuem de forma integrada: unidade automatizada de preparação da solução a ser administrada; unidade de dosagem e unidade de leitura e verificação automatizada do teor de cloro ativo, de modo a assegurar que a dose indicada no item 2 deste Anexo seja corretamente mantida durante o tratamento.

d.) Deve ser implantado um sistema de monitoramento da concentração de cloro residual e de trihalometanos no efluente a ser lançado no corpo hídrico, além de outras exigências que possam vir a ser estabelecidas pelo órgão ambiental competente, nos termos da Resolução CONAMA n° 467 de 2015 e visando o atendimento da Resolução CONAMA n° 430 de 2011.

A necessidade de liberação desse produto em caráter emergencial fez com que os órgãos licenciadores abrissem mão da exigência de estudos prévios mais rigorosos e que avaliassem os eventuais impactos ambientais dos produtos à base de dicloroisocianurato de sódio anidro. Uma das possíveis formas de estudar tais impactos é utilizando bioindicadores (AGUILAR IBARRA, 2005;

ARIAS *et al.*, 2007). O *Astyanax altiparanae* (lambari-do-rabo-amarelo), apresenta algumas características importantes para esse tipo de estudo: é uma espécie autóctone da bacia do rio Paraná (onde se localiza a UHE de Itaipu, entre outras importantes usinas hidrelétricas, por exemplo); possui pequeno porte; apresenta hábito alimentar flexível; idade de maturação sexual reduzida e que pode ser reproduzida em condições ambientais controladas, de forma a se obter indivíduos para uso em ensaios toxicológicos laboratoriais (OSTRENSKY *et al.*, 2001; PORTO-FORESTI *et al.*, 2005; GALVAN, 2011; DAL PONT, 2012; DE SIQUEIRA-SILVA *et al.*, 2015; BETTIM *et al.*, 2016)

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos agudos da exposição intermitente de larvas e juvenis de *A. altiparanae* a diferentes concentrações de cloro residual livre obtidas a partir do uso do dicloroisocianurato de sódio anidro em condições laboratoriais, seguindo as condições de uso preconizadas pela legislação vigente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Obtenção das larvas e juvenis**

Indivíduos adultos de *A. altiparanae* foram selecionados de um banco de reprodutores do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA) localizado no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, Paraná, Brasil. As larvas utilizadas nos experimentos foram obtidas a partir da reprodução induzida realizada no próprio laboratório. Para isso, foram utilizados ao todo, 12 reprodutores (n = 4 fêmeas e 8 machos).

Para a indução hormonal, os animais receberam dose única de 1000 UI/kg de Gonadotrofina Coriônica Humana (HCG), em seguida, foram acondicionados em um tanque-rede de nylon (3 mm com malha de 1,5 x 1,5 cm), com dimensões de 25 x 25 x 20 cm (comprimento, largura e altura, respectivamente), previamente instalado dentro de um aquário, contendo uma bomba submersa (SB-2000, Sarlobetter, Brasil), filtros mecânicos e biológicos e aeração constante, até a liberação dos ovócitos e posterior fertilização. Após a eclosão dos embriões, as larvas foram transferidas, com uma pipeta de Pasteur, para placas de cultivo de 6 poços (Kasvi K12-006, China), onde foram submetidas aos diferentes tratamentos.

Mil exemplares de *A. altiparanae*, na fase juvenil de desenvolvimento foram adquiridos na Central de Abastecimento do Paraná (CEASA), localizada em Curitiba, no estado do Paraná, Brasil. Os animais foram transportados em sacos plásticos, contendo água e oxigênio até o GIA.

### **Experimentos piloto com larvas e juvenis**

Para a definição da metodologia experimental e das concentrações de cloro residual livre que seriam utilizadas nos testes definitivos, dois experimentos pilotos, envolvendo a exposição de larvas e de juvenis de *A. altiparanae* foram executados. Inicialmente, 5 juvenis foram acondicionados em um aquário contendo 3 L de água, com aeração constante e temperatura de 25 °C. Os animais foram expostos a 7 concentrações de cloro residual livre: 0,1, 0,3, 0,6, 0,8, 1, 3 e 5 ppm, e mantidos nestes aquários por 12 h. A cada hora, os aquários eram vistoriados e os animais mortos eram contabilizados e retirados.

Posteriormente, as mesmas concentrações de cloro residual livre foram testadas em larvas, mantidas em placas de cultivo celular de 6 poços (Kasvi K12-006, China), na densidade de duas larvas por poço. As placas foram acondicionadas em incubadora vertical do tipo B.O.D. microprocessada (ADAMO, Brasil), com foto período ajustado para 12 h luz: 12 h escuro, e temperatura ajustada para 25 °C.

Observou-se que todos os juvenis expostos a concentrações superiores a 0,6 ppm de cloro residual livre morreram, bem como todas as larvas expostas a concentrações superiores a 0,3 ppm. Com base nessas observações, as concentrações utilizadas nos testes definitivos variaram entre 0,05 até 0,6 ppm.

### **Exposição das larvas ao cloro residual livre**

Os animais foram submetidos a 5 tratamentos (0,05, 0,1, 0,15, 0,2 e 0,25 ppm de cloro residual livre), um controle (sem cloro residual livre), além do monitoramento de um grupo branco (sem cloro residual livre e sem larvas), utilizado para monitoramento da qualidade da água. Cada tratamento foi testado em 3 placas de 6 poços cada, totalizando 18 repetições por tratamento, com densidade de duas larvas por poço. As placas foram mantidas em incubadora vertical tipo B.O.D. microprocessada (ADAMO, Brasil), com fotoperíodo ajustado para 12 h luz: 12 h escuro e temperatura a  $24,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . As concentrações desejadas de cloro residual livre foram obtidas através da dissolução do dicloroisocianurato de sódio anidro (Dicloro Granulado, Hidroazul Brasil) em água do próprio sistema de manutenção dos peixes. O grupo controle era composto apenas por água do sistema de abastecimento público, clorada e neutralizada e reservada para este fim.

A metodologia experimental foi definida com base na legislação brasileira (IBAMA, 2015) e na natureza extremamente volátil deste composto. A cada 15 minutos, durante duas horas por dia, por 4 dias consecutivos, os animais eram submetidos a renovação total da água de cada unidade experimental. A água utilizada nesse processo de reposição continha a concentração de cloro residual livre determinada para cada um dos respectivos tratamentos.

A avaliação da mortalidade das larvas foi feita a 2, 24, 26, 48, 50, 72, 74 e 96 h após o início do experimento, sendo constatada a morte dos indivíduos através do seu aspecto geral e da ausência de resposta ao toque por 15 segundos.

### **Aclimação dos juvenis**

Em laboratório, os animais foram separados em dois grupos de 500 indivíduos e distribuídos em dois tanques plásticos com volume útil de 800 L, posicionados em uma estufa agrícola, dotada de sistema de controle de temperatura, filtro biológico e recirculação de água, para a manutenção da qualidade das variáveis abióticas. Deste lote de peixes, foram coletados ao acaso 25 indivíduos para a análise biométrica inicial, mensurando-se seu peso total ( $2,6 \pm 0,7$  g), em uma balança digital (BEL Engineering S4202, Itália) e o comprimento total ( $4,5 \pm 0,3$  cm), com um paquímetro universal 200 mm (Vonder, Brasil). Os peixes foram mantidos nestes tanques e alimentados *ad libitum*, com ração comercial extrusada (Kowalski, Brasil), contendo 38% de proteína bruta.

Após 10 dias de aclimação, 300 animais foram transferidos para uma sala de experimentos, onde passaram por mais 3 fases de aclimação antes do início do experimento. Na primeira fase (3 dias), os peixes foram separados em dois grupos e acondicionados em dois tanques com volume individual útil de 80 L. O fotoperíodo foi ajustado em 12:12 h (claro: escuro). Cada grupo de animais foi alimentado, *ad libitum*, com a mesma ração comercial anteriormente utilizada. Diariamente, 50% do volume de água de cada tanque foi renovado.

Posteriormente, na segunda fase de aclimação (dois dias), os peixes eram transferidos para 4 aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 14 L. A temperatura foi mantida em 24°C. O manejo nutricional, alimentar e de manutenção foram os mesmos da fase anterior de aclimação.

Na terceira fase (dois dias), os animais foram distribuídos em aquários esféricos de vidro, com capacidade útil de 4 L idênticos aos das unidades experimentais. Cada aquário recebeu 10 peixes, que foram mantidos nas mesmas condições da fase anterior. Porém, neste caso, houve a renovação



diária de 80% do volume de água de cada aquário e não foi fornecido alimento aos animais neste período.

### **Exposição de juvenis ao cloro residual livre**

Dez exemplares de *A. altiparanae* foram acondicionados em aquários contendo 4 L de água, em presença de aeração constante. Esses animais foram expostos a diferentes concentrações de cloro residual livre, pelo período de 96 horas, preparadas da mesma forma e nas mesmas condições (tratamentos, grupo controle e branco) que as descritas nos experimentos com larvas. Porém, as concentrações testadas foram diferentes: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 e 0,6 ppm. Todos os tratamentos foram testados em duplicata, exceto o grupo branco. Os animais não foram alimentados durante o experimento. Cada tratamento experimental foi submetido à mesma dinâmica de exposição descrita no experimento com larvas.

A avaliação da mortalidade dos juvenis foi feita às 2, 24, 26, 48, 50, 72, 74 e 96 h após o início do experimento. A confirmação da morte foi feita através do aspecto geral dos animais, da ausência de movimentos operculares por 15 segundos e da ausência de resposta ao toque nesse mesmo período.

O monitoramento das seguintes variáveis abióticas da água era feito nos mesmos períodos de avaliação da mortalidade dos juvenis: temperatura e oxigênio dissolvido (oxímetro digital YSI® Pro 20, USA); pH (pHmetro Sensoglass® SP1400, Brasil); concentração de amônia total ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), obtidas pelo método colorimétrico (Apha, 2005), mediante leitura das amostras por espectrometria em fluorímetro (Molecular Devices® – ExpectraMax M2, USA); alcalinidade, mensurada por titulometria com ácido sulfúrico a 0,02 N (APHA, 2005a) e cloro residual livre (fotômetro multiparâmetro eXact® Micro 20, Taiwan).

### **Determinação da taxa média de decaimento do cloro residual livre nas unidades experimentais.**

A taxa média de decaimento do cloro residual livre presente nas diferentes unidades experimentais foi estimada da seguinte forma: os aquários,

idênticos aos das unidades experimentais, eram preenchidos com o mesmo volume utilizado nos experimentos (4 L). A água utilizada advinha de um tanque com 80 L de volume útil e era previamente submetida a constante aeração por 6 horas para evaporação de qualquer resíduo de cloro, o que era constatado através de leitura em um fotômetro multiparâmetro (eXact® Micro 20, Taiwan). Em seguida, era adicionada a quantidade necessária de dicloroisocianurato de sódio para se obter 0,6 ppm de cloro residual livre (concentração máxima testada nos juvenis). Assim feito, o cloro residual livre presente na água era medido a cada 40 segundos, utilizando-se o mesmo fotômetro utilizado anteriormente, até que fosse constatado que a concentração havia chegado a 0,03 ppm. A mesma dinâmica foi realizada nas placas de cultivo utilizadas nos experimentos com larvas, utilizando-se como concentração inicial de cloro residual livre a concentração máxima testada nelas (0,25 ppm). Após a coleta dos dados, foram determinadas as curvas de decaimento do cloro residual livre na água, através do software Microsoft Excel® 2016.

### **Análises estatísticas**

Os dados coletados sobre as variáveis abióticas da água foram agrupados e sua normalidade testada pelo método de Shapiro & Wilk. Após confirmada a normalidade dos dados ( $p > 0,05$ ), os mesmos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias e ao teste de homocedasticidade. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste de ANOVA One Way. Todas essas análises estatísticas descritas foram realizadas utilizando-se o software Statistica 10.0 (StatSoft®).

Os dados diários de mortalidade foram utilizados para o cálculo da  $CL_{50}$  nos experimentos com larvas e juvenis utilizando-se o Software Risk Assessment Tools no modo Estimating Acute Toxicity (EAT). O método de cálculo é baseado na análise padrão Probit

## RESULTADOS

### Variáveis abióticas da água

A temperatura, oxigênio dissolvido e alcalinidade mensuradas na água não apresentaram diferenças significativas nos experimentos com larvas e juvenis ( $p > 0,05$ ) e mantiveram-se dentro dos limites toleráveis para a maioria dos peixes teleósteos (BURGGREN e ROBERTS, 1991) (tabela 6 e tabela 7). As concentrações de amônia total e nitrito foram, respectivamente, inferiores a 0,05 mg/L e 0,08 mg/l, tanto para larvas quanto para juvenis, níveis estes muito abaixo do observado para causar efeito tóxico em *Astyanax altiparanae* (MARTINEZ e SOUZA, 2002; DAL PONT, 2012).

Tabela 6: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com larvas.

Tratamento (ppm)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,3 ± 0,1	24,7 ± 0,1	4,5 ± 0,5	18 ± 2
Controle	7,2 ± 0,1	24,6 ± 0,2	4,6 ± 0,5	21 ± 2
0,05	7,3 ± 0,1	24,2 ± 0,2	4,5 ± 0,3	21 ± 1
0,1	7,3 ± 0,1	24,1 ± 0,2	4,4 ± 0,4	21 ± 2
0,15	7,3 ± 0,1	24,1 ± 0,2	4,6 ± 0,4	21 ± 2
0,2	7,3 ± 0,1	24,0 ± 0,2	4,5 ± 0,5	21 ± 2
0,25	7,3 ± 0,1	24,1 ± 0,2	4,7 ± 0,5	21 ± 2

T: Temperatura; OD: Oxigênio dissolvido.

Tabela 7: Média e desvio padrão das variáveis abióticas mensuradas na água dos diferentes tratamentos ao longo do experimento com juvenis.

Tratamento (ppm)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
Branco	7,3 ± 0,1	24,4 ± 2	4,9 ± 0,3	32 ± 3
Controle	7,4 ± 0,2	24,2 ± 2	4,4 ± 0,3	32 ± 3
1	7,5 ± 0,2	24,2 ± 2	4,3 ± 0,3	32 ± 2
2	7,5 ± 0,1	24,3 ± 2	4,3 ± 0,4	33 ± 2
3	7,5 ± 0,2	24,1 ± 2	4,4 ± 0,4	34 ± 2
4	7,5 ± 0,2	24,7 ± 1	4,5 ± 0,4	34 ± 2
5	7,5 ± 0,1	24,7 ± 1	4,5 ± 0,4	34 ± 2

Tratamento (ppm)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)
6	7,5 ± 0,1	24,7 ± 1	4,4 ± 0,5	35 ± 2

T: Temperatura; OD: Oxigênio dissolvido.

### Taxa média de eliminação do cloro residual livre da água das unidades experimentais

A taxa média de eliminação do cloro residual livre nos aquários demonstrou-se ligeiramente maior do que a observada nas placas de cultivo, sendo elas, respectivamente, 0,019 ppm/min (figura 4) e 0,016 ppm/min (figura 5).

Figura 4 - Curva de decaimento do cloro residual livre na água dos aquários.

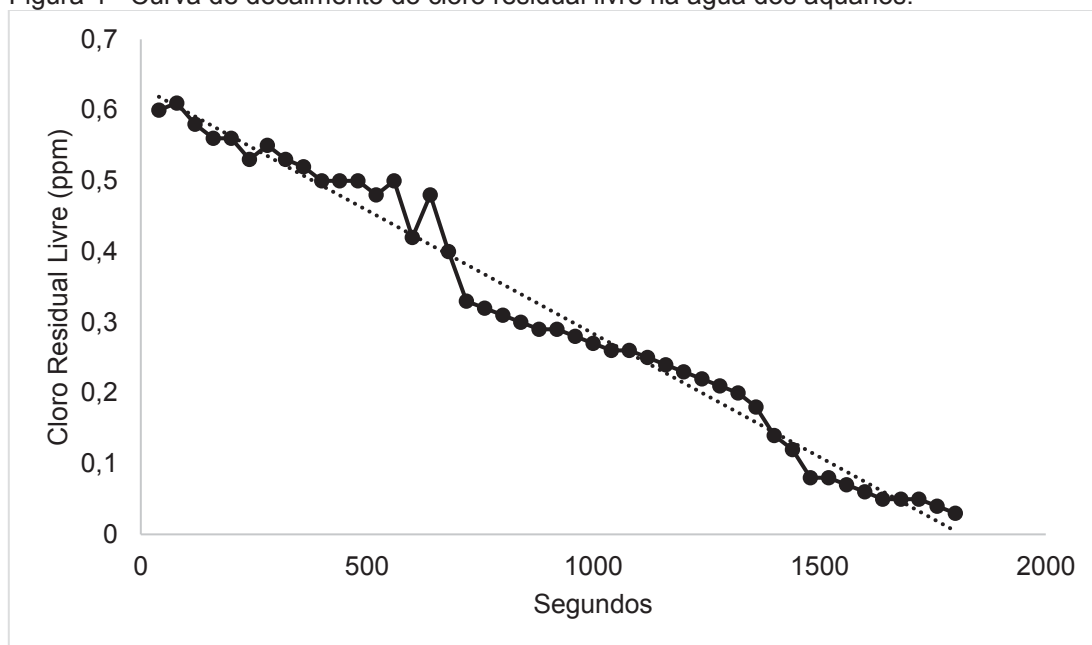
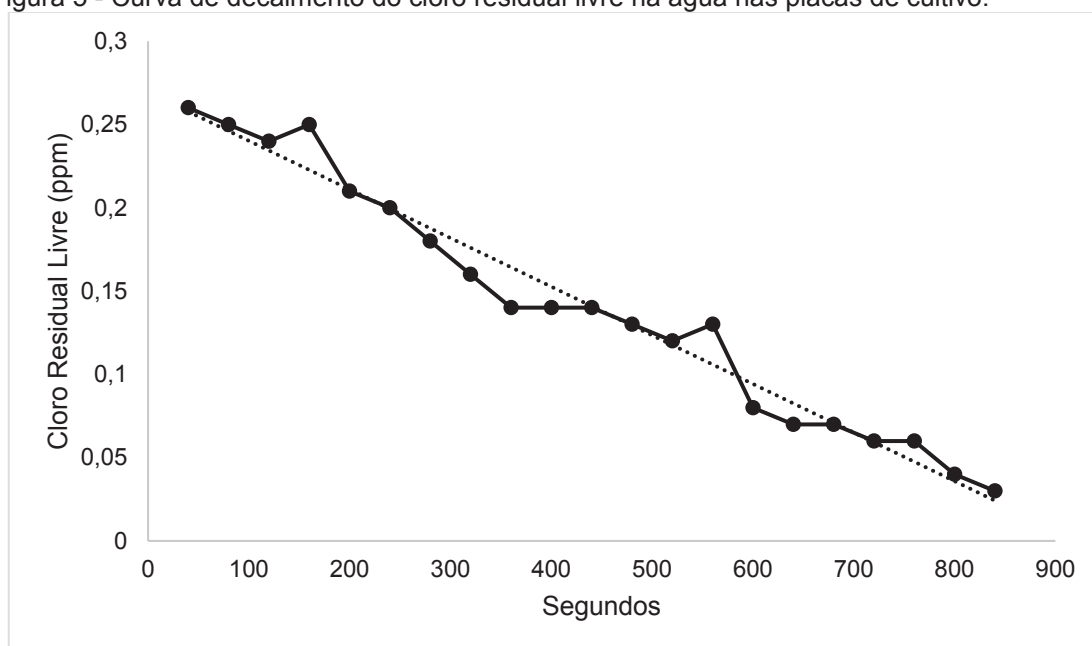


Figura 5 - Curva de decaimento do cloro residual livre na água nas placas de cultivo.



### CL<sub>50</sub> para larvas e juvenis

As CL<sub>50</sub> nos diferentes tratamentos com cloro residual livre para larvas variaram entre 0,32 (24 h) e 0,07 ppm (96 h) e para juvenis entre 0,60 (24 h) e 0,11 ppm (96 h). Estes valores de CL<sub>50</sub> estão expressos graficamente para larvas (figura 6) e para juvenis (figura 7).

Figura 6 - CL<sub>50</sub> do cloro residual livre para larvas de *A. altiparanae* nos diferentes períodos de exposição.

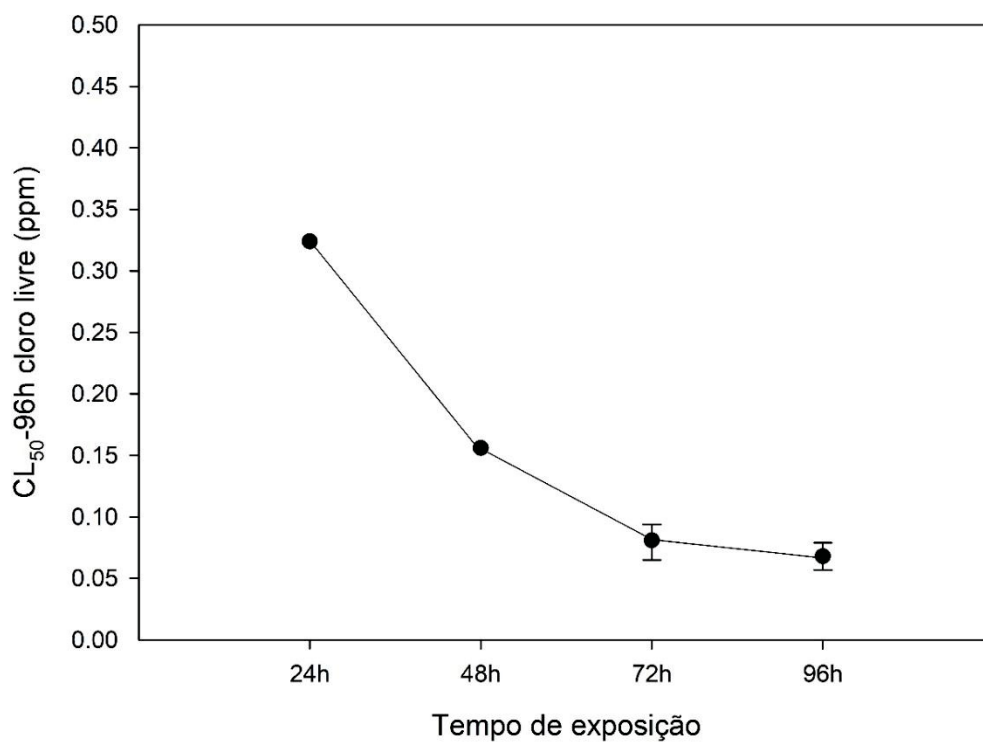
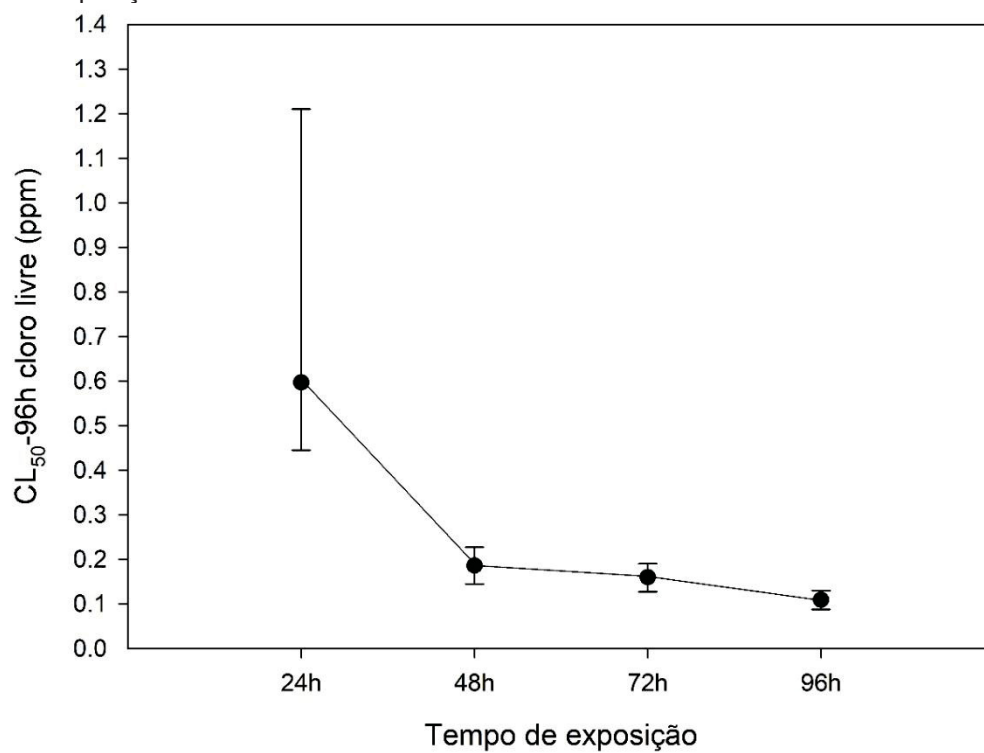


Figura 7 - CL50 do cloro residual livre para juvenis de *A. altiparanae* nos diferentes períodos de exposição.



## DISCUSSÃO

O dicloroisocianurato de sódio (DCIS) é um derivado clorado orgânico solúvel e estável em meio aquoso e que possui sua principal aplicação ligada ao controle microbiano na água utilizada na indústria de maneira geral, para o consumo humano ou para fins recreativos (BLOCK, 2001; DE MACÊDO, 2017). A sua dissociação na água produz dois compostos: o ácido cianureto de sódio ( $C_3H_2N_3NaO_3$ ) e o ácido hipocloroso (HClO). A toxicidade aguda do ácido cianureto de sódio demonstra-se muito baixa para os animais (HODGE *et al.*, 1965; HAMMOND *et al.*, 1986; DE MACÊDO, 2017). Sendo assim, quem desempenha o papel desinfetante do DCIS é o HClO (MEYER, 1994; DE MACÊDO, 2017). Este, por sua vez, se dissocia, formando o íon hipoclorito ( $ClO^-$ ), que também apresenta baixa toxicidade (MEYER, 1994; LELES, 2005; SILVEIRA, 2014) e  $H^+$ .



A soma das concentrações de ácido hipocloroso e o íon hipoclorito é denominada de cloro residual livre (CRL) (ROSSIN e BUSO, 1987; CAMARGO, 1991; WHO, 2004), de natureza extremamente volátil, como constatado nas taxas médias de decaimento de suas concentrações na água estimadas neste estudo. A diferença entre a toxicidade do HClO e do  $ClO^-$  está associada à diferença físico-química desses compostos: enquanto o primeiro é uma molécula neutra, o segundo é carregado negativamente. Portanto, o HClO possui maior capacidade de atravessar as membranas celulares, ligando-se às proteínas, principalmente enzimas, afetando o seu funcionamento e podendo levar a morte celular (KNOX *et al.*, 1948; MOORE, 1951; FAIR *et al.*, 1966). Outro fator envolvido na toxicidade do HClO é a possibilidade do mesmo reagir com compostos nitrogenados, como o amônio ( $NH_4^+$ ), oxidando-os e gerando cloraminas ( $NH_2Cl$ ) (MEYER, 1994; COOKE e SCHREER, 2001; HOW *et al.*, 2017):



Essas cloraminas podem ser tóxicas a diferentes organismos (GRISHAM *et al.*, 1984; HAWKINS e DAVIES, 1999; FARRELL *et al.*, 2001; HAWKINS *et al.*, 2003; CEMELI *et al.*, 2006). O HClO, quando em contato com alguns ácidos presentes na matéria orgânica, principalmente os fúlvicos e húmicos, também é capaz de formar trihalometanos (THM) tais como: clorofórmio, triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano e tribromoclorometano (VAN BREMEM, 1984; SANTOS, 1988; MEYER, 1994). Esses THMs são reconhecidamente tóxicos para os animais e há diversos estudos evidenciando que possuem potencial carcinogênico (PEREIRA *et al.*, 1982; DUNNICK e MELNICK, 1993; MELNICK *et al.*, 1994; PANYAKAPO *et al.*, 2008; LEE *et al.*, 2009).

Os níveis de compostos nitrogenados encontrados no presente estudo, tanto para larvas quanto para juvenis, foram muito baixos, o que tende a descartar a hipótese de cloraminas terem sido formadas à níveis que interferissem na mortalidade dos peixes. Pela mesma lógica, reduz-se a possibilidade de interação do CRL com matéria orgânica e a subsequente formação de THMs, devido às características da água utilizada nos experimentos. Portanto, pode-se inferir que a mortalidade observada nos animais foi provavelmente decorrente da ação tóxica do HClO que está intimamente relacionada aos níveis de CRL testados.

A toxicidade aguda do CRL já foi estudada em peixes, nas fases juvenis e adulta, em várias espécies: *Oncorhynchus mykiss* (SPRAGUE e DRURY, 1969; HEATH, 1977), *Lepomis macrochirus* (BASS *et al.*, 1977), *Notemigonus crysoleucas* (FISHER *et al.*, 1999), *Micropterus punctatus*, *Notropis rubellus* (CHERRY *et al.*, 1977), *Oncorhynchus gorbuscha* (MOORE, 1951), *Micropterus dolomieu* (ROSEBOOM e RICHEY, 1977), *Ictalurus punctatus* (PYLE, 1960), *Cyprinus carpio* (EBELING, 1931), e *Notropis atherinoides* (BROOKS e BARTOS, 1984). Em larvas, apenas as espécies *Fundulus heteroclitus* (MIDDAUGH *et al.*, 1978) e a *Morone saxatilis* (BURTON *et al.*, 1979) foram avaliadas.

Devido à dinâmica peculiar de exposição ao CRL de cada um dos referidos experimentos, bem como os seus distintos períodos de duração, a



comparação com os dados obtidos no presente estudo não pode ser feita com exatidão. Ainda assim, pode-se inferir que *A. altiparanae* apresenta relativa tolerância ao CRL, seja em sua fase larval ou juvenil.

Apesar das condições laboratoriais adotadas no presente estudo apresentarem-se completamente distintas daquelas encontradas no ambiente natural onde estão instaladas as usinas hidrelétricas, não se pode afirmar que o cloro residual livre deva ser motivo de preocupação em relação à sua toxicidade direta para a ictiofauna, principalmente em função da sua alta volatidade. Por outro lado, estudos complementares precisam ser desenvolvidos para avaliar os efeitos da formação de subprodutos da decomposição (como cloraminas e trihalometanos) em condições operacionais das usinas hidrelétricas.

## REFERÊNCIAS

- AGUILAR IBARRA, A. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. **Artículos**, 2005. ISSN 1607-6079.
- ARCE, A.; OHISHI, T.; SOARES, S. Optimal dispatch of generating units of the Itaipú hydroelectric plant. **IEEE Transactions on power systems**, v. 17, n. 1, p. 154-158, 2002. ISSN 0885-8950.
- ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 61-72, 2007. ISSN 1413-8123.
- BARBEAU, B. et al. Impacts of water quality on chlorine and chlorine dioxide efficacy in natural waters. **Water Research**, v. 39, n. 10, p. 2024-2033, 2005/05/01/ 2005. ISSN 0043-1354. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405001235> >.
- BASS, M. L.; BERRY JR, C. R.; HEATH, A. G. Histopathological effects of intermittent chlorine exposure on bluegill (*Lepomis macrochirus*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Water Research**, v. 11, n. 8, p. 731-735, 1977. ISSN 0043-1354.
- BELZ, C. E. et al. Density, Recruitment, and Shell Growth of *Limnoperna fortunei* (Mytilidae), an Invasive Mussel in Tropical South America. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 25, n. 2, p. 227-233, 2010. ISSN 0270-5060.
- BETTIM, F. L. et al. Biochemical responses in freshwater fish after exposure to water-soluble fraction of gasoline. **Chemosphere**, v. 144, p. 1467-1474, 2016. ISSN 0045-6535.
- BLOCK, S. S. **Disinfection, sterilization, and preservation**. Lippincott Williams & Wilkins, 2001. ISBN 0683307401.
- BRASIL. **PORTARIA Nº 494, DE 16 DE OUTUBRO DE 2015**. PROJETOS, S.-A. D. Brasília: Diário Oficial da União. 494: 2 p. 2015.
- BROOKS, A. S.; BARTOS, J. M. Effects of free and combined chlorine and exposure duration on rainbow trout, channel catfish, and emerald shiners. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 113, n. 6, p. 786-793, 1984. ISSN 0002-8487.
- BRUNGS, W. A. Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, v. 45, n. 10, p. 2180-2193, 1973. ISSN 00431303. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/25038016> >.
- BURGGREN, W.; ROBERTS, J. Respiration and metabolism. **Environmental and metabolic animal physiology**, p. 353-435, 1991.

BURTON, D. T. et al. Interactions of chlorine, temperature change ( $\Delta T$ ), and exposure time on survival of striped bass (*Morone saxatilis*) eggs and prolarvae. **Journal of the Fisheries Board of Canada**, v. 36, n. 9, p. 1108-1113, 1979. ISSN 0706-652X.

CAMARGO, J. A. Toxic effects of residual chlorine on larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae): A proposal of biological indicator. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 47, n. 2, p. 261-265, 1991. ISSN 0007-4861.

CARVALHO, J. F. D. Prioridades para investimentos em usinas elétricas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 64, p. 215-225, 2008. ISSN 0103-4014.

CEMELI, E. et al. Modulation of the cytotoxicity and genotoxicity of the drinking water disinfection byproduct iodoacetic acid by suppressors of oxidative stress. **Environmental science & technology**, v. 40, n. 6, p. 1878-1883, 2006. ISSN 0013-936X.

CHERRY, D. et al. J. jr. Cairns. 1977. Significance of hypochlorous acid in free residual chlorine to the avoidance response of spotted bass (*Micropterus punctatus*) and rosyface shiner (*Notropis rubellus*). **J. Fish. Res. Board Can**, v. 34, p. 1365-1372, 1977.

COLLYER, W. Água de lastro, bioinvasão e resposta internacional. **Revista Jurídica da Presidência**, v. 9, n. 84, p. 145-160, 2007. ISSN 2236-3645.

COOKE, S.; SCHREER, J. Additive effects of chlorinated biocides and water temperature on fish in thermal effluents with emphasis on the Great Lakes. **Reviews in Fisheries Science**, v. 9, n. 2, p. 69-113, 2001. ISSN 1064-1262.

DAL PONT, G. **Toxicidade do óleo diesel para o peixe *Astyanax Altiparanae***. 2012. 112 Dissertação (Mestrado). Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

DARRIGRAN, G.; EZCURRA DE DRAGO, I. **Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America**. 2000. 69-73.

DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P.; DAMBORENEA, C. **The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality**. 1999. 361-365.

DE MACÊDO, J. A. B. O estado da arte: Dicloroisocianurato de sódio pastilhas x Dicloroisocianurato de sódio pastilhas efervescentes para desinfecção de água em caminhões tanques. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 10, n. 2, 2017. ISSN 1984-3577.

DE OLIVEIRA, M. Ocorrência e impactos do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense. **Embrapa Pantanal-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

DE SIQUEIRA-SILVA, D. H. et al. The effects of temperature and busulfan (Myleran) on the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) spermatogenesis. **Theriogenology**, v. 84, n. 6, p. 1033-1042, 2015. ISSN 0093-691X.

DOS REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**. Editora Manole, 2015. ISBN 8520445616.

DUNNICK, J. K.; MELNICK, R. L. Assessment of the carcinogenic potential of chlorinated water: experimental studies of chlorine, chloramine, and trihalomethanes. **JNCI: Journal of the National Cancer Institute**, v. 85, n. 10, p. 817-822, 1993. ISSN 1460-2105.

EBELING, G. The influence of sewage on streams containing fish. **Vom Wasser**, v. 5, p. 201, 1931.

ELETROBRAS, C. E. B. S. A. **Relatório Anual 2016**. Rio de Janeiro - RJ: Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS: 64 p. 2016.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. Water and wastewater engineering. In: (Ed.). **Water and wastewater engineering**: J. Wiley, 1966.

FARRELL, A. P. et al. Acute toxicity of monochloramine to juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum) and *Ceriodaphnia dubia*. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 36, n. 1, p. 133-149, 2001. ISSN 1201-3080.

FISHER, D. J. et al. The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organisms in the presence and absence of ammonia. **Water Research**, v. 33, n. 3, p. 760-768, 1999. ISSN 0043-1354.

GALVAN, G. L. Avaliação genotóxica de efluentes químicos de laboratórios de instituição de ensino e pesquisa utilizando como bioindicador o peixe *Astyanax altiparanae* (Characidae). 2011.

GAO, B.; YANG, D.; YANG, H. Impact of the Three Gorges Dam on flow regime in the middle and lower Yangtze River. **Quaternary International**, v. 304, p. 43-50, 2013. ISSN 1040-6182.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005. ISSN 1806-9592.

GRISHAM, M. B. et al. Chlorination of endogenous amines by isolated neutrophils. Ammonia-dependent bactericidal, cytotoxic, and cytolytic activities of the chloramines. **Journal of Biological Chemistry**, v. 259, n. 16, p. 10404-10413, 1984. ISSN 0021-9258.

HAMMOND, B. G. et al. A review of toxicology studies on cyanurate and its chlorinated derivatives. **Environmental Health Perspectives**, v. 69, p. 287, 1986.

HAWKINS, C.; PATTISON, D.; DAVIES, M. J. Hypochlorite-induced oxidation of amino acids, peptides and proteins. **Amino acids**, v. 25, n. 3-4, p. 259-274, 2003. ISSN 0939-4451.

HAWKINS, C. L.; DAVIES, M. J. Hypochlorite-induced oxidation of proteins in plasma: formation of chloramines and nitrogen-centred radicals and their role in protein fragmentation. **Biochemical Journal**, v. 340, n. Pt 2, p. 539, 1999.

HEATH, A. G. Toxicity of intermittent chlorination to freshwater fish: influence of temperature and chlorine form. **Hydrobiologia**, v. 56, n. 1, p. 39-47, 1977. ISSN 0018-8158.

HODGE, H. C. et al. Toxicity of sodium cyanurate. **Toxicology and applied pharmacology**, v. 7, n. 5, p. 667-674, 1965. ISSN 0041-008X.

HOW, Z. T. et al. Organic chloramines in chlorine-based disinfected water systems: A critical review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 58, p. 2-18, 2017. ISSN 1001-0742.

IBAMA, I. B. D. M. A. E. D. R. N. R. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº- 18, DE 21 DE OUTUBRO DE 2015**. RENOVAVEIS, I. B. D. M. A. E. D. R. N. Brasília - DF: Diário Oficial da União. 18 2015.

KNOX, W. et al. The inhibition of sulfhydryl enzymes as the basis of the bactericidal action of chlorine. **Journal of bacteriology**, v. 55, n. 4, p. 451, 1948.

LEE, J.; HA, K.-T.; ZOH, K.-D. Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 6, p. 1990-1997, 2009. ISSN 0048-9697.

LELES, T. C. **Otimização e validação da técnica microextração em fase sólida para determinação de trihalometanos em água**. 2005. Universidade Federal de Viçosa

LIMA, J. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Embrapa Cerrados, 2001.

MÄDER-NETTO, O. S. **Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. 2011. 113

Mestrado (Mestre). Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MANSUR, M. et al. Distribuição e conseqüências após cinco anos da invasão do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae). **Biociências**, v. 12, n. 2, p. 165-172, 2004.

MAROÑAS, M. E.; DAMBORENEA, C. Efeito de biocidas e tolerância à exposição ao ar. **Introdução a Biologia das invasões. O Mexilhão Dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. São Carlos: Cubo Editora**, p. 169-183, 2009.

MARTINEZ, C. B.; SOUZA, M. M. Acute effects of nitrite on ion regulation in two neotropical fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 1, p. 151-160, 2002. ISSN 1095-6433.

MELNICK, R. L. et al. Trihalomethanes and Other Environmental Factors That Contribute to Colorectal Cancer. **Environmental Health Perspectives**, v. 102, n. 6-7, p. 586, 1994.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, p. 99-110, 1994. ISSN 0102-311X.

MIDDAUGH, D. et al. Effect of thermal stress and total residual chlorination on early life stages of the mummichog *Fundulus heteroclitus*. **Marine Biology**, v. 46, n. 1, p. 1-8, 1978. ISSN 0025-3162.

MME, M. D. M. E. E. D. B. **Balanco Energético Nacional - Capacidade Instalada - Série Histórica**. Brasília: MME 2016.

MOORE, W. Fundamentals of chlorination of sewage and waste. **Water and Sewage Works**, v. 98, p. 130-136, 1951.

OLDANI, N. O.; BAIGÚN, C. R. Performance of a fishway system in a major South American dam on the Parana River (Argentina–Paraguay). **River Research and Applications**, v. 18, n. 2, p. 171-183, 2002. ISSN 1535-1467.

OSTRENSKY, A. et al. Monitoramento ictiofaunístico pós-derramamento de óleo nos Rios Barigüí e Iguaçu. **Un-Repar/Petrobrás**, v. 2, p. 32-52, 2001.

PANYAKAPO, M.; SOONTORNCHAI, S.; PAOPUREE, P. Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 3, p. 372-378, 2008. ISSN 1001-0742.

PASTORINO, G. et al. **Limnoperna fortunei (Dunker, 1857)(Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata.** 1993

PENAFORTE, L. R. **INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, LIMNOPERNA FORTUNEI (DUNKER, 1857): IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS.** 2014. 65 Monografia (Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos). INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PEREIRA, M. A. et al. Trihalomethanes as initiators and promoters of carcinogenesis. **Environmental health perspectives**, v. 46, p. 151, 1982.

PESSOTTO, M.; NOGUEIRA, M. More than two decades after the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) in La Plata Basin. **Brazilian Journal of Biology**, n. AHEAD, p. 0-0, 2018. ISSN 1519-6984.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**, v. 2, p. 101-116, 2005.

PYLE, E. A. Neutralizing chlorine in city water for use in fish-distribution tank. **The Progressive Fish-Culturist**, v. 22, n. 1, p. 30-33, 1960. ISSN 0033-0779.

RICCIARDI, A. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. **Biofouling**, v. 13, n. 2, p. 97-106, 1998. ISSN 0892-7014.

ROSEBOOM, D. P.; RICHEY, D. **Acute toxicity of residual chlorine and ammonia to some native Illinois fishes.** Illinois State Water Survey. 1977

ROSSIN, A.; BUSO, S. Desinfecção. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, v. 2, 1987.

SANTOS, C. L. D. **Controle de trihalometanos (THM) nas águas de abastecimento público.** 1988. Universidade de Sao Paulo. Faculdade de Saúde Pública

SILVEIRA, D. R. Avaliação da toxicidade do cloro livre em bactérias desnitrificantes e nitrificantes. 2014.

SPRAGUE, J. B.; DRURY, D. E. Avoidance reactions of salmonid fish to representative pollutants. **Advances in water pollution research**, v. 1, p. 169-179, 1969.

VAN BREMEM, J. Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE. **International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.(Mimeo.)**, 1984.

WHO, W. H. O. **Guidelines for drinking-water quality: recommendations.**  
World Health Organization, 2004. ISBN 9241546387.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes métodos utilizados no controle de *L. fortunei* em usinas hidrelétricas possuem variados mecanismos de ação sobre os organismos e seguem dinâmicas distintas quando aplicados nos sistemas de resfriamento. O MXD-100 e o dicloroisocianurato de sódio atuam de forma direta sobre os animais, enquanto o NaOH exerce sua toxicidade aguda alterando drasticamente o pH da água. Apesar de todos eles demonstrarem ser eficientes como agentes biocidas, não é razoável tecer uma comparação direta entre seus diferentes níveis de toxicidade para larvas e juvenis de *A. altiparanae*. Ademais, notou-se em todos os experimentos conduzidos, que se a legislação vigente for seguida corretamente e os protocolos operacionais forem devidamente respeitados, os efluentes gerados a partir desses métodos não possuem potencial para causar impactos ambientais significativos sobre a ictiofauna nativa. Porém, é importante frisar que experimentos futuros em condições mais similares às encontradas nos ambientes onde estão instaladas as usinas hidrelétricas devem ser conduzidos para respaldar os dados obtidos neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, S. A.; ABBASI, N. The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. **Applied Energy**, v. 65, n. 1, p. 121-144, 2000/04/01/2000. ISSN 0306-2619. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626199900077X>>.
- ABDANUR, A. Remediação de solo e água subterrânea contaminados por hidrocarbonetos de petróleo: estudo de caso da refinaria Duque de Caxias/RJ. 2005.
- AGUDO-PADRÓN, A. I. **Vulnerabilidade da rede hidrográfica do estado de Santa Catarina, SC, ante o avanço invasor do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)**. Revista Discente Expressões Geográficas. Florianópolis - SC. 103 - nº 04: 29 p. 2008.
- AGUILAR IBARRA, A. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. **Artículos**, 2005. ISSN 1607-6079.
- AKELLA, A. K.; DAS, S. Technical and Socio-Economic Aspects of Hybrid Renewable Energy Sources: A Step-by-Step Approach. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 12, n. 21, p. 11228-11241, 2017. ISSN 0973-4562.
- ALVES, V. B. D. S.; DA SILVA, J. E.; BERNSTEIN, A. **Impactos do acidente na Indústria de Papel e Celulose Cataguases, no Rio Paraíba do Sul**. Rio de Janeiro - RJ: Biblioteca Educação Pública Meio Ambiente - Fundação CECIERJ 2013.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater: 4500-NH3 Método fenol de determinação de Amônia Total**. Washington, DC, USA 1995.
- APHA., A. P. H. A. Standard methods for the examination of water and wastewater. Method 4500 F. 4-114., v. 21, 2005.
- ARCE, A.; OHISHI, T.; SOARES, S. Optimal dispatch of generating units of the Itaipú hydroelectric plant. **IEEE Transactions on power systems**, v. 17, n. 1, p. 154-158, 2002. ISSN 0885-8950.
- ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 61-72, 2007. ISSN 1413-8123.
- ASIF, M.; MUNEER, T. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 7, p. 1388-1413, 2007. ISSN 1364-0321.

AUTHMAN, M. M. et al. Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. **Journal of Aquaculture Research & Development**, v. 6, n. 4, p. 1, 2015. ISSN 2155-9546.

BAILEY, H. C. et al. Acute toxicity of the antiseptic chemicals DDAC and IPBC, alone and in combination, to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Water Research**, v. 33, n. 10, p. 2410-2414, 1999/07/01/ 1999. ISSN 0043-1354. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135498004576> >.

BALAJI, A.; CHOCKALINGAM, S. Acute toxicity of tannic acid on the haematological parameters in *Labeo rohita*. Proceedings of National Symposium on Emerging Trends in Animal Haematology, 1989, Patna University Patna. p.24-27.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. UFSM Santa Maria, 2002. ISBN 8573910321.

BANNON, I.; COLLIER, P. **Natural resources and violent conflict: Options and actions**. World Bank publications, 2003. ISBN 0821355031.

BANOS, R. et al. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 1753-1766, 2011. ISSN 1364-0321.

BARBEAU, B. et al. Impacts of water quality on chlorine and chlorine dioxide efficacy in natural waters. **Water Research**, v. 39, n. 10, p. 2024-2033, 2005/05/01/ 2005. ISSN 0043-1354. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405001235> >.

BARBOSA, F. G. Invasões Biológicas e o *Limnoperna fortunei*. **Revista Eletrônica de Biologia (REB)**. ISSN 1983-7682, v. 1, n. 4, p. 31-45, 2009. ISSN 1983-7682.

BARBOSA, F. G.; MELO, A. S. Modelo preditivo de sobrevivência do Mexilhão Dourado (*Limnoperna fortunei*) em relação a variações de salinidade na Laguna dos Patos, RS, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 9, p. 407-412, 2009. ISSN 1676-0603. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1676-06032009000300037&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032009000300037&nrm=iso) >.

BARBOSA, N. P. et al. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)(Mollusca, Bivalvia, Mytilidae): first record in the São Francisco River basin, Brazil. **Check List**, v. 12, n. 1, p. 1846, 2016. ISSN 1809-127X.

BARTLETT, K.; KRAMER, J. Comparative performance of industrial water treatment biocides. CORROSION 2011, 2011, NACE International.

BARTON, B. **Energy security: managing risk in a dynamic legal and regulatory environment.** Oxford University Press on Demand, 2004. ISBN 0199271615.

BASS, M. L.; BERRY JR, C. R.; HEATH, A. G. Histopathological effects of intermittent chlorine exposure on bluegill (*Lepomis macrochirus*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Water Research**, v. 11, n. 8, p. 731-735, 1977. ISSN 0043-1354.

BEAUDIN, M. et al. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review. **Energy for sustainable development**, v. 14, n. 4, p. 302-314, 2010. ISSN 0973-0826.

BEAUMONT, M.; TAYLOR, E.; BUTLER, P. The resting membrane potential of white muscle from brown trout (*Salmo trutta*) exposed to copper in soft, acidic water. **Journal of Experimental Biology**, v. 203, n. 14, p. 2229-2236, 2000. ISSN 0022-0949.

BELZ, C. E. **Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) : um modelo para a bacia do Rio Iguaçu, Paraná.** 2006. 102 Tese (Doutor). Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BELZ, C. E. et al. Density, Recruitment, and Shell Growth of *Limnoperna fortunei* (Mytilidae), an Invasive Mussel in Tropical South America. **Journal of Freshwater Ecology**, v. 25, n. 2, p. 227-233, 2010. ISSN 0270-5060.

BERTI, A. P.; SILVA, E. M.; GRASSI, L. E. A. Avaliação ecotoxicológica da qualidade da água em *Astyanax bimaculatus*. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2015. ISSN 2236-7934.

BETTIM, F. L. et al. Biochemical responses in freshwater fish after exposure to water-soluble fraction of gasoline. **Chemosphere**, v. 144, p. 1467-1474, 2016. ISSN 0045-6535.

BITTENCOURT, C. Farmacopéia Brasileira. **Atheneu Editora, São Paulo**, p. 406, 1977.

BLOCK, S. S. **Disinfection, sterilization, and preservation.** Lippincott Williams & Wilkins, 2001. ISBN 0683307401.

BOEHM, P. D. et al. Physical-chemical weathering of petroleum hydrocarbons from the IXTOC I blowout: Chemical measurements and a weathering model. **Environmental Science & Technology**, v. 16, n. 8, p. 498-505, 1982. ISSN 0013-936X.

BOLNER, K.; BALDISSEROTTO, B. Water pH and urinary excretion in silver catfish *Rhamdia quelen*. **Journal of Fish Biology**, v. 70, n. 1, p. 50-64, 2007. ISSN 1095-8649.

BOLNER, K. C. et al. Water pH and metabolic parameters in silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 56, p. 202-208, 2014. ISSN 0305-1978.

BOLTOVSKOY, D. Distribution and colonization of *Limnoperna fortunei*: special traits of an odd mussel. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015a. p.301-311.

\_\_\_\_\_. **Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel**. Springer, 2015b. ISBN 3319134949.

BOLTOVSKOY, D.; XU, M.; NAKANO, D. Impacts of *Limnoperna fortunei* on man-made structures and control strategies: general overview. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.375-393.

BORGES, P. D. *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) e o setor elétrico brasileiro: distribuição, impactos, estudo de caso da dispersão no Rio Iguaçu e teste de protocolo de uso de larvas na caracterização do perfil genético de populações. 2014.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S.; SOMRIDHIVEJ, B. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 47, n. 1, p. 6-41, 2016. ISSN 1749-7345.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S.; VIRIYATUM, R. Interpretation of pH, acidity, and alkalinity in aquaculture and fisheries. **North American Journal of Aquaculture**, v. 73, n. 4, p. 403-408, 2011. ISSN 1522-2055.

BRASIL. **PORTARIA Nº 494, DE 16 DE OUTUBRO DE 2015**. PROJETOS, S.-A. D. Brasília: Diário Oficial da União. 494: 2 p. 2015.

BROOKS, A. S.; BARTOS, J. M. Effects of free and combined chlorine and exposure duration on rainbow trout, channel catfish, and emerald shiners. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 113, n. 6, p. 786-793, 1984. ISSN 0002-8487.

BRUNGS, W. A. Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, v. 45, n. 10, p. 2180-2193, 1973. ISSN 00431303. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/25038016> >.

BURGGREN, W.; ROBERTS, J. Respiration and metabolism. **Environmental and metabolic animal physiology**, p. 353-435, 1991.

BURTON, D. T. et al. Interactions of chlorine, temperature change ( $\Delta T$ ), and exposure time on survival of striped bass (*Morone saxatilis*) eggs and prolarvae. **Journal of the Fisheries Board of Canada**, v. 36, n. 9, p. 1108-1113, 1979. ISSN 0706-652X.

BUTLER, L. G.; ROGLER, J. C. Biochemical mechanisms of the antinutritional effects of tannins. In: (Ed.): ACS Publications, 1992. ISBN 1947-5918.

CAMARGO, J. A. Toxic effects of residual chlorine on larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae): A proposal of biological indicator. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 47, n. 2, p. 261-265, 1991. ISSN 0007-4861.

CAMBRAY, R. S. et al. Observations on radioactivity from the Chernobyl accident. **Nucl. Energy**, v. 26, n. 2, p. 77-101, 1987.

CAMERON, J. N.; HEISLER, N. Studies of ammonia in the rainbow trout: physico-chemical parameters, acid-base behaviour and respiratory clearance. **Journal of Experimental Biology**, v. 105, n. 1, p. 107-125, 1983. ISSN 0022-0949.

CARVALHO, J. F. D. Prioridades para investimentos em usinas elétricas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 64, p. 215-225, 2008. ISSN 0103-4014.

CASTILHO-ALMEIDA, R. *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) como modelo biológico de espécie de peixe para exploração zootécnica e biomanipulação. **Botucatu: Universidade Estadual Paulista**, 2007.

CATALDO, D. et al. Temperature-Dependent Rates Of Larval Development In *Limnoperna Fortunei* (Bivalvia: Mytilidae). **Journal of Molluscan Studies**, v. 71, n. 1, p. 41-46, 2005. ISSN 0260-1230. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1093/mollus/eyi005> >.

CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D.; POSE, M. Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua. **Tercera Jornada sobre Conservación de la Fauna íctica en el Río Uruguay**, 2002.

CEMELI, E. et al. Modulation of the cytotoxicity and genotoxicity of the drinking water disinfection byproduct iodoacetic acid by suppressors of oxidative stress. **Environmental science & technology**, v. 40, n. 6, p. 1878-1883, 2006. ISSN 0013-936X.

CERBASI, G. P. **Metodologias para determinação do valor das empresas: uma aplicação no setor de geração de energia hidrelétrica**. 2003. Universidade de São Paulo

CHANG, J. I.; LIN, C.-C. A study of storage tank accidents. **Journal of loss prevention in the process industries**, v. 19, n. 1, p. 51-59, 2006. ISSN 0950-4230.

CHANGE, I. C. Mitigation of climate change. **Summary for Policymakers**, v. 10, n. 5.4, 2007.

CHEN, G.; WU, X. Energy overview for globalized world economy: source, supply chain and sink. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 735-749, 2017. ISSN 1364-0321.

CHERRY, D. et al. J. jr. Cairns. 1977. Significance of hypochlorous acid in free residual chlorine to the avoidance response of spotted bass (*Micropterus punctatus*) and rosyface shiner (*Notropis rubellus*). **J. Fish. Res. Board Can**, v. 34, p. 1365-1372, 1977.

CHIAIA-HERNANDEZ, A. C.; KRAUSS, M.; HOLLENDER, J. Screening of lake sediments for emerging contaminants by liquid chromatography atmospheric pressure photoionization and electrospray ionization coupled to high resolution mass spectrometry. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 2, p. 976-986, 2012. ISSN 0013-936X.

CHOW, J.; KOPP, R. J.; PORTNEY, P. R. Energy resources and global development. **Science**, v. 302, n. 5650, p. 1528-1531, 2003. ISSN 0036-8075.

CHU, S.; CUI, Y.; LIU, N. The path towards sustainable energy. **Nature materials**, v. 16, n. 1, p. 16, 2017. ISSN 1476-4660.

CHU, S.; MAJUMDAR, A. Opportunities and challenges for a sustainable energy future. **nature**, v. 488, n. 7411, p. 294, 2012. ISSN 1476-4687.

CHUNG, K.-T.; WEI, C.-I.; JOHNSON, M. G. Are tannins a double-edged sword in biology and health? **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 4, p. 168-175, 1998. ISSN 0924-2244.

CHUNG, K.-T. et al. Tannins and human health: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 38, n. 6, p. 421-464, 1998. ISSN 1040-8398.

CHUNG, K.-T. et al. Growth inhibition of selected aquatic bacteria by tannic acid and related compounds. **Journal of Aquatic Animal Health**, v. 7, n. 1, p. 46-49, 1995. ISSN 0899-7659.

CHUNG, K. T. et al. Growth inhibition of selected food-borne bacteria by tannic acid, propyl gallate and related compounds. **Letters in Applied Microbiology**, v. 17, n. 1, p. 29-32, 1993. ISSN 1472-765X.

CLAIBORNE, J. B.; EDWARDS, S. L.; MORRISON-SHETLAR, A. I. Acid-base regulation in fishes: cellular and molecular mechanisms. **Journal of**



**Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology**, v. 293, n. 3, p. 302-319, 2002. ISSN 1097-010X.

CLARKE, B. O.; SMITH, S. R. Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. **Environment international**, v. 37, n. 1, p. 226-247, 2011. ISSN 0160-4120.

CLAUDE, E. Likely Effects of the Increasing Alkalinity of Inland Waters on Aquaculture. **Journal of the World Aquaculture Society**, 2017. ISSN 0893-8849.

CLAUDI, R.; DE OLIVEIRA, M. D. Chemical strategies for the control of the Golden Mussel (*Limnoperna fortunei*) in industrial facilities. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.417-441.

COLLYER, W. Água de lastro, bioinvasão e resposta internacional. **Revista Jurídica da Presidência**, v. 9, n. 84, p. 145-160, 2007. ISSN 2236-3645.

COMBER, S. et al. Bioaccumulation and toxicity of a cationic surfactant (DODMAC) in sediment dwelling freshwater invertebrates. **Environmental pollution**, v. 153, n. 1, p. 184-191, 2008. ISSN 0269-7491.

CONNELLY, N. A. et al. Economic impacts of zebra mussels on drinking water treatment and electric power generation facilities. **Environmental Management**, v. 40, n. 1, p. 105-112, 2007. ISSN 0364-152X.

COOKE, S.; SCHREER, J. Additive effects of chlorinated biocides and water temperature on fish in thermal effluents with emphasis on the Great Lakes. **Reviews in Fisheries Science**, v. 9, n. 2, p. 69-113, 2001. ISSN 1064-1262.

COOPER, J. C. Review of the environmental toxicity of quaternary ammonium halides. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 16, n. 1, p. 65-71, 1988. ISSN 0147-6513.

COSTA, P. G. **Efeito toxicológico da exposição aguda e crônica do anti-incrustante MXD-100® sobre o jundiá (*Rhamdia quelen*)**. 2016. 27 Dissertação (Mestre). Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Plataforma Sucupira.

COSTA, T. C.; PEDLOWSKY, M. A. **Um estudo sobre os impactos do acidente ambiental da “Cataguazes de Papel” sobre as comunidades de pescadores da foz do Rio Paraíba do Sul**. Indaiatuba - SP: II Encontro da ANPPAS - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade 2004.



COWAN, C.; WHITE, D. The mechanism of exchange reactions occurring between sodium montmorillonite and various n-primary aliphatic amine salts. **Transactions of the Faraday Society**, v. 54, p. 691-697, 1958.

DA SILVA, E. P. et al. **Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento**: MultiCiência 2003.

DAIBER, K. H. Enzyme inhibition by polyphenols of sorghum grain and malt. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 9, p. 1399-1411, 1975. ISSN 1097-0010.

DAL PONT, G. **Toxicidade do óleo diesel para o peixe *Astyanax Altiparanae***. 2012. 112 Dissertação (Mestrado). Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR.

DANILA, D. J. Estimating the abundance and egg production of spawning winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) in the Niantic River, CT for use in the assessment of impact at Millstone Nuclear Power Station. **Environmental Science & Policy**, v. 3, p. 459-469, 2000. ISSN 1462-9011.

DANULAT, E. Biochemical-physiological adaptations of teleosts to highly alkaline, saline lakes. In: (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of fishes**: Elsevier, v.5, 1995. p.229-249. ISBN 1873-0140.

DANULAT, E.; KEMPE, S. Nitrogenous waste excretion and accumulation of urea and ammonia in *Chalcaburnus tarichi* (Cyprinidae), endemic to the extremely alkaline Lake Van (Eastern Turkey). **Fish physiology and biochemistry**, v. 9, n. 5-6, p. 377-386, 1992. ISSN 0920-1742.

DAOUD, N. N.; DICKINSON, N.; GILBERT, P. Antimicrobial activity and physico-chemical properties of some alkyldimethylbenzylammonium chlorides. **Microbios**, v. 37, n. 148, p. 73-85, 1983. ISSN 0026-2633.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. **INTRODUÇÃO A BIOLOGIA DAS INVASÕES: O Mexilhão Dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle**. São Carlos: Editora Cubo, 2009. 246 p. Disponível em: [http://www.malacologia.com.ar/Introducao\\_a%20Biologia\\_das\\_Invasoes.pdf](http://www.malacologia.com.ar/Introducao_a%20Biologia_das_Invasoes.pdf).

DARRIGRAN, G.; EZCURRA DE DRAGO, I. **Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America**. 2000. 69-73.

DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P.; DAMBORENEA, C. **The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality**. 1999. 361-365.

DE BRUYNE, T. et al. Condensed vegetable tannins: biodiversity in structure and biological activities. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 27, n. 4, p. 445-459, 1999. ISSN 0305-1978.

DE MACÊDO, J. A. B. O estado da arte: Dicloroisocianurato de sódio pastilhas x Dicloroisocianurato de sódio pastilhas efervescentes para desinfecção de água em caminhões tanques. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 10, n. 2, 2017. ISSN 1984-3577.

DE NICOLA, E. et al. Vegetable and synthetic tannins induce hormesis/toxicity in sea urchin early development and in algal growth. **Environmental pollution**, v. 146, n. 1, p. 46-54, 2007. ISSN 0269-7491.

DE OLIVEIRA, M. Ocorrência e impactos do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker 1857) no Pantanal Mato-Grossense. **Embrapa Pantanal-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

DE SANTANA, E. A.; DE OLIVEIRA, C. A. C. A economia dos custos de transação e a reforma na indústria de energia elétrica do Brasil. **BORENSTEIN, Carlos Raul et al**, 1999.

DE SIQUEIRA-SILVA, D. H. et al. The effects of temperature and busulfan (Myleran) on the yellowtail tetra *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) spermatogenesis. **Theriogenology**, v. 84, n. 6, p. 1033-1042, 2015. ISSN 0093-691X.

DEMIRBAS, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy conversion and management**, v. 49, n. 8, p. 2106-2116, 2008. ISSN 0196-8904.

DESTA, M. G. Organization of Petroleum Exporting Countries, the World Trade Organization, and Regional Trade Agreements, The. **J. World Trade**, v. 37, p. 523, 2003.

DINCER, I. Environmental impacts of energy. **Energy policy**, v. 27, n. 14, p. 845-854, 1999. ISSN 0301-4215.

\_\_\_\_\_. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 4, n. 2, p. 157-175, 2000. ISSN 1364-0321.

DOBBS, M. et al. **Environmental assessment of an alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride (ADBAC) based molluscicide using laboratory tests**. Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (United States). 1995

DOLARA, P. et al. Red wine polyphenols influence carcinogenesis, intestinal microflora, oxidative damage and gene expression profiles of colonic mucosa in

F344 rats. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 591, n. 1, p. 237-246, 2005. ISSN 0027-5107.

DORJI, U.; GHOMASHCHI, R. Hydro turbine failure mechanisms: An overview. **Engineering Failure Analysis**, v. 44, p. 136-147, 2014. ISSN 1350-6307.

DOS REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**. Editora Manole, 2015. ISBN 8520445616.

DRESSELHAUS, M.; THOMAS, I. Alternative energy technologies. **Nature**, v. 414, n. 6861, p. 332, 2001. ISSN 1476-4687.

DUNNICK, J. K.; MELNICK, R. L. Assessment of the carcinogenic potential of chlorinated water: experimental studies of chlorine, chloramine, and trihalomethanes. **JNCI: Journal of the National Cancer Institute**, v. 85, n. 10, p. 817-822, 1993. ISSN 1460-2105.

DUSASTRE, V.; MARTIRADONNA, L. **Materials for sustainable energy**: Nature Publishing Group 2017.

EBELING, G. The influence of sewage on streams containing fish. **Vom Wasser**, v. 5, p. 201, 1931.

EGRÉ, D.; MILEWSKI, J. C. The diversity of hydropower projects. **Energy Policy**, v. 30, n. 14, p. 1225-1230, 2002. ISSN 0301-4215.

ELETROBRAS, C. E. B. S. A. **Relatório Anual 2016**. Rio de Janeiro - RJ: Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS: 64 p. 2016.

ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 748-764, 2014. ISSN 1364-0321.

ENZIEN, M. V. et al. Improved microbial control programs for hydraulic fracturing fluids used during unconventional shale-gas exploration and production. SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2011, Society of Petroleum Engineers.

EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, T. J. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1082-1088, 2009/06/01/ 2009. ISSN 1364-0321. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108000555> >.

EVANS, D. H. Teleost fish osmoregulation: what have we learned since August Krogh, Homer Smith, and Ancel Keys. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 2, p. R704-R713, 2008. ISSN 0363-6119.

EXPÓSITO, A. G.; CONEJO, A. J.; CANIZARES, C. **Electric energy systems: analysis and operation**. CRC press, 2016. ISBN 1420007270.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. Water and wastewater engineering. In: (Ed.). **Water and wastewater engineering**: J. Wiley, 1966.

FARRELL, A. P. et al. Acute toxicity of monochloramine to juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum) and *Ceriodaphnia dubia*. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 36, n. 1, p. 133-149, 2001. ISSN 1201-3080.

FARRELL, A. P. et al. Acute toxicity of a didecyldimethylammonium chloride-based wood preservative, bardac 2280, to aquatic species. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 17, n. 8, p. 1552-1557, 1998. ISSN 1552-8618.

FELIX, É. P. **Avaliação de técnicas de controle da incrustação por mexilhão-dourado em hidrogeradores visando minimização da indisponibilidade**. 2011. 213 Tese (Doutor). Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERREIRA, C. K. L. Privatização do setor elétrico no Brasil. 2000.

FERRER, I.; FURLONG, E. T. Accelerated solvent extraction followed by on-line solid-phase extraction coupled to ion trap LC/MS/MS for analysis of benzalkonium chlorides in sediment samples. **Analytical chemistry**, v. 74, n. 6, p. 1275-1280, 2002. ISSN 0003-2700.

FIELD, J.; KORTEKAAS, S.; LETTINGA, G. The tannin theory of methanogenic toxicity. **Biological Wastes**, v. 29, n. 4, p. 241-262, 1989. ISSN 0269-7483.

FIELD, J.; LETTINGA, G. The methanogenic toxicity and anaerobic degradability of a hydrolyzable tannin. **Water Research**, v. 21, n. 3, p. 367-374, 1987. ISSN 0043-1354.

FISHER, D. J. et al. The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organisms in the presence and absence of ammonia. **Water Research**, v. 33, n. 3, p. 760-768, 1999. ISSN 0043-1354.

FLEMMING, H.-C. Biofouling in water systems—cases, causes and countermeasures. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 59, n. 6, p. 629-640, 2002. ISSN 0175-7598.

FREY, G. W.; LINKE, D. M. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. **Energy Policy**, v. 30, n. 14, p. 1261-1265, 2002/11/01/ 2002. ISSN 0301-4215. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421502000861> >.

FRIDRICH, D. et al. Apple polyphenols diminish the phosphorylation of the epidermal growth factor receptor in HT29 colon carcinoma cells. **Molecular nutrition & food research**, v. 51, n. 5, p. 594-601, 2007. ISSN 1613-4133.

FUKUCHI, K. et al. Inhibition of herpes simplex virus infection by tannins and related compounds. **Antiviral research**, v. 11, n. 5-6, p. 285-297, 1989. ISSN 0166-3542.

GALVAN, G. L. Avaliação genotóxica de efluentes químicos de laboratórios de instituição de ensino e pesquisa utilizando como bioindicador o peixe *Astyanax altiparanae* (Characidae). 2011.

GAO, B.; YANG, D.; YANG, H. Impact of the Three Gorges Dam on flow regime in the middle and lower Yangtze River. **Quaternary International**, v. 304, p. 43-50, 2013. ISSN 1040-6182.

GARCIA, M. et al. Fate and effect of monoalkyl quaternary ammonium surfactants in the aquatic environment. **Environmental Pollution**, v. 111, n. 1, p. 169-175, 2001. ISSN 0269-7491.

GE, F. et al. Joint action of binary mixtures of cetyltrimethyl ammonium chloride and aromatic hydrocarbons on *Chlorella vulgaris*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 73, n. 7, p. 1689-1695, 2010. ISSN 0147-6513.

GENSLER, H. L. et al. Prevention of photocarcinogenesis and UV-induced immunosuppression in mice by topical tannic acid. 1994. ISSN 0163-5581.

GHORASHI, A. H.; RAHIMI, A. Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 729-736, 2011. ISSN 1364-0321.

GILBERT, P.; AL-TAAE, A. Antimicrobial activity of some alkyltrimethylammonium bromides. **Letters in applied microbiology**, v. 1, n. 6, p. 101-104, 1985. ISSN 1472-765X.

GILBERT, P.; MOORE, L. Cationic antiseptics: diversity of action under a common epithet. **Journal of applied microbiology**, v. 99, n. 4, p. 703-715, 2005. ISSN 1365-2672.

GIORDANI, S.; NEVES, P.; ANDREOLI, C. *Limnoperna fortunei* ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importância do controle de sua disseminação. 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Mato Grosso do Sul, Brasil, 2005.

GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 18, p. 1875-1885, 2007. ISSN 0959-6526.

GOEL, B.; AGRAWAL, V. Tannic acid-induced biochemical changes in the liver of two teleost fishes, *Clarias batrachus* and *Ophiocephalus punctatus*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 5, n. 4, p. 418-423, 1981. ISSN 0147-6513.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. **Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005. ISSN 1806-9592.

GOSSÉ, F. et al. Chemopreventive properties of apple procyanidins on human colon cancer-derived metastatic SW620 cells and in a rat model of colon carcinogenesis. **Carcinogenesis**, v. 26, n. 7, p. 1291-1295, 2005. ISSN 1460-2180.

GRACE, G.; PIEDRAHITA, R.; TIMMONS, M. Carbon dioxide control [aquaculture water reuse systems]. **Dev. Aquacult. fish. sci**, v. 27, p. 209-234, 1994.

GRISHAM, M. B. et al. Chlorination of endogenous amines by isolated neutrophils. Ammonia-dependent bactericidal, cytotoxic, and cytolytic activities of the chloramines. **Journal of Biological Chemistry**, v. 259, n. 16, p. 10404-10413, 1984. ISSN 0021-9258.

GUPTA, R.; HASLAM, E. Vegetable tannins: structure and biosynthesis. Polyphenols in cereals and legumes: proceedings of a symposium, 1979, IDRC, Ottawa, ON, CA.

GYAMFI, M. A.; ANIYA, Y. Antioxidant properties of Thonningianin A, isolated from the African medicinal herb, *Thonningia sanguinea*. **Biochemical pharmacology**, v. 63, n. 9, p. 1725-1737, 2002. ISSN 0006-2952.

HAMMOND, B. G. et al. A review of toxicology studies on cyanurate and its chlorinated derivatives. **Environmental Health Perspectives**, v. 69, p. 287, 1986.

HASLAM, E. Chemistry of vegetable tannins. **Chemistry of vegetable tannins.**, 1966.

\_\_\_\_\_. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. **Journal of natural products**, v. 59, n. 2, p. 205-215, 1996. ISSN 0163-3864.

HAWKINS, C.; PATTISON, D.; DAVIES, M. J. Hypochlorite-induced oxidation of amino acids, peptides and proteins. **Amino acids**, v. 25, n. 3-4, p. 259-274, 2003. ISSN 0939-4451.



HAWKINS, C. L.; DAVIES, M. J. Hypochlorite-induced oxidation of proteins in plasma: formation of chloramines and nitrogen-centred radicals and their role in protein fragmentation. **Biochemical Journal**, v. 340, n. Pt 2, p. 539, 1999.

HEATH, A. G. Toxicity of intermittent chlorination to freshwater fish: influence of temperature and chlorine form. **Hydrobiologia**, v. 56, n. 1, p. 39-47, 1977. ISSN 0018-8158.

HEMING, T. A.; BLUMHAGEN, K. A. Plasma acid-base and electrolyte states of rainbow trout exposed to alum (aluminum sulphate) in acidic and alkaline environments. **Aquatic toxicology**, v. 12, n. 2, p. 125-139, 1988. ISSN 0166-445X.

HENDERSON, N. D. **A review of the environmental impact and toxic effects of DDAC**. Citeseer, 1992. ISBN 0772616140.

HIRO, D. **The longest war: the Iran-Iraq military conflict**. Psychology Press, 1989. ISBN 0415904072.

HIRSCH, R. L.; BEZDEK, R. M.; WENDLING, R. M. **Peaking of world oil production: impacts, mitigation, & risk management**. National Energy Technology Laboratory (NETL), Pittsburgh, PA, Morgantown, WV, and Albany, OR. 2005

HODGE, B. K. **Alternative energy systems and applications**. John Wiley & Sons, 2017. ISBN 1119109213.

HODGE, H. C. et al. Toxicity of sodium cyanurate. **Toxicology and applied pharmacology**, v. 7, n. 5, p. 667-674, 1965. ISSN 0041-008X.

HOLT, M.; CAMPBELL, R. J.; NIKITIN, M. B. **Fukushima nuclear disaster**. Congressional Research Service, 2012.

HORIKAWA, K. et al. Moderate inhibition of mutagenicity and carcinogenicity of benzo [a] pyrene, 1, 6-dinitropyrene and 3, 9-dinitrofluoranthene by Chinese medicinal herbs. **Mutagenesis**, v. 9, n. 6, p. 523-526, 1994. ISSN 0267-8357.

HOW, Z. T. et al. Organic chloramines in chlorine-based disinfected water systems: A critical review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 58, p. 2-18, 2017. ISSN 1001-0742.

IBAMA. **Certificado de registro como agrotóxico e afins para uso emergencial no controle do Mexilhão-Dourado – *Limnoperna fortunei* em sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. FEDERAL, S. P.;MMA, M. D. M. A.-., et al. Brasília: Diário Oficial da União. 6925/15 2016.

IBAMA, I. B. D. M. A. E. D. R. N. R. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº- 17, DE 21 DE OUTUBRO DE 2015**. RENOVAVEIS, I. B. D. M. A. E. D. R. N. Brasília DF: Diário Oficial da União. 17 2015a.

\_\_\_\_\_. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº- 18, DE 21 DE OUTUBRO DE 2015**. RENOVAVEIS, I. B. D. M. A. E. D. R. N. Brasília - DF: Diário Oficial da União. 18 2015b.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Estatísticas**. Rio de Janeiro: IBGE 2018.

IBRAHEM, M. D. Experimental exposure of African catfish *Clarias Gariepinus* (Burchell, 1822) to phenol: Clinical evaluation, tissue alterations and residue assessment. **Journal of Advanced Research**, v. 3, n. 2, p. 177-183, 2012. ISSN 2090-1232.

IEA, I. E. A. **ELECTRICITY INFORMATION: OVERVIEW 2017 EDITION**: International Energy Agency: 8 p. 2017.

IHA, I. H. A. **Hydropower Status Report**: International Hydropower Association: 84 p. 2017.

IOANNOU, C. J.; HANLON, G. W.; DENYER, S. P. Action of disinfectant quaternary ammonium compounds against *Staphylococcus aureus*. **Antimicrobial agents and chemotherapy**, v. 51, n. 1, p. 296-306, 2007. ISSN 0066-4804.

IP, Y.; CHEW, S.; RANDALL, D. Ammonia toxicity, tolerance, and excretion. **Fish physiology**, v. 20, p. 109-148, 2001. ISSN 1546-5098.

ISMAIL, Z. Z.; TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S. G. Sorption of quaternary ammonium compounds to municipal sludge. **Water research**, v. 44, n. 7, p. 2303-2313, 2010. ISSN 0043-1354.

JACOBSON, M. Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. **Energy & Environmental Science**, v. 2, n. 2, p. 148-173, 2009.

JANULIS, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. **Renewable Energy**, v. 29, n. 6, p. 861-871, 2004/05/01/ 2004. ISSN 0960-1481. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148103003100> >.

JEBARAJ, S.; INIYAN, S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 4, p. 281-311, 2006. ISSN 1364-0321.

JENNER, H. A. et al. Cooling water management in European power stations Biology and control of fouling. **Hydroécologie Appliquée**, v. 10, p. I-225, 1998. ISSN 1147-9213.



JING, G.; ZHOU, Z.; ZHUO, J. Quantitative structure–activity relationship (QSAR) study of toxicity of quaternary ammonium compounds on *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus quadricauda*. **Chemosphere**, v. 86, n. 1, p. 76-82, 2012. ISSN 0045-6535.

JUERGENSEN, L. et al. Fate, behavior, and aquatic toxicity of the fungicide DDAC in the Canadian environment. **Environmental Toxicology**, v. 15, n. 3, p. 174-200, 2000. ISSN 1520-4081.

KAKIUCHI, N. et al. Effect of condensed tannins and related compounds on reverse transcriptase. **Phytotherapy Research**, v. 5, n. 6, p. 270-272, 1991. ISSN 1099-1573.

KISHOR, N.; SAINI, R.; SINGH, S. A review on hydropower plant models and control. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 5, p. 776-796, 2007. ISSN 1364-0321.

KNOX, W. et al. The inhibition of sulfhydryl enzymes as the basis of the bactericidal action of chlorine. **Journal of bacteriology**, v. 55, n. 4, p. 451, 1948.

KOIFMAN, S. Geração e transmissão da energia elétrica: impacto sobre os povos indígenas no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 413-423, 2001. ISSN 0102-311X.

KOUMANS, J.; AKSTER, H. Myogenic cells in development and growth of fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 110, n. 1, p. 3-20, 1995. ISSN 0300-9629.

KREUZINGER, N. et al. Methodological approach towards the environmental significance of uncharacterized substances—quaternary ammonium compounds as an example. **Desalination**, v. 215, n. 1-3, p. 209-222, 2007. ISSN 0011-9164.

KRZEMINSKI, S.; MARTIN, J.; BRACKETT, C. The environmental impact of a quaternary ammonium bactericide. **Household Pers Prod Ind**, v. 10, p. 22-24, 1973.

LAWRENCE, C. Germicidal properties of cationic surfactants. In: (Ed.). **Cationic surfactants**: Marcel Dekker, New York, 1970. p.491-526.

LE BILLON, P. The political ecology of war: natural resources and armed conflicts. **Political geography**, v. 20, n. 5, p. 561-584, 2001. ISSN 0962-6298.

LEE, J.; HA, K.-T.; ZOH, K.-D. Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 6, p. 1990-1997, 2009. ISSN 0048-9697.

LELES, T. C. **Otimização e validação da técnica microextração em fase sólida para determinação de trihalometanos em água**. 2005. Universidade Federal de Viçosa

LEWIS, M. A.; WEE, V. T. Aquatic safety assessment for cationic surfactants. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 105-118, 1983. ISSN 1552-8618.

LI, X. et al. Occurrence of quaternary ammonium compounds (QACs) and their application as a tracer for sewage derived pollution in urban estuarine sediments. **Environmental pollution**, v. 185, p. 127-133, 2014. ISSN 0269-7491.

LIBRALATO, G.; AVEZZÙ, F.; GHIRARDINI, A. V. Lignin and tannin toxicity to *Phaeodactylum tricornutum* (Bohlin). **Journal of hazardous materials**, v. 194, p. 435-439, 2011. ISSN 0304-3894.

LIFFOURRENA, A. S.; LUCCHESI, G. I. Identification, cloning and biochemical characterization of *Pseudomonas putida* A (ATCC 12633) monooxygenase enzyme necessary for the metabolism of tetradecyltrimethylammonium bromide. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 173, n. 2, p. 552-561, 2014. ISSN 0273-2289.

LIMA, J. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Embrapa Cerrados, 2001.

LIN, H.; RANDALL, D. The effect of varying water pH on the acidification of expired water in rainbow trout. **Journal of Experimental Biology**, v. 149, n. 1, p. 149-160, 1990. ISSN 0022-0949.

LINDLEY, T. E. et al. Muscle as the primary site of urea cycle enzyme activity in an alkaline lake-adapted tilapia, *Oreochromis alcalicus grahami*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 274, n. 42, p. 29858-29861, 1999. ISSN 0021-9258.

LINS, J. A. P. N. et al. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 8, n. 4, p. 469-484, 2017. ISSN 1981-4178.

MACISAAC, H. J. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. **American zoologist**, v. 36, n. 3, p. 287-299, 1996. ISSN 0003-1569.

MÄDER-NETTO, O. S. **Controle da incrustação de organismos invasores em materiais de sistemas de resfriamento de usinas hidrelétricas**. 2011. 113 Mestrado (Mestre). Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAHADEVAN, A.; MUTHUKUMAR, G. Aquatic microbiology with reference to tannin degradation. **Hydrobiologia**, v. 72, n. 1-2, p. 73-79, 1980. ISSN 0018-8158.

MANSUR, M. et al. Distribuição e conseqüências após cinco anos da invasão do mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei*, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae). **Biociências**, v. 12, n. 2, p. 165-172, 2004.

MAROÑAS, M. E.; DAMBORENEA, C. Efeito de biocidas e tolerância à exposição ao ar. **Introdução a Biologia das invasões. O Mexilhão Dourado na América do Sul: biologia, dispersão, impacto, prevenção e controle. São Carlos: Cubo Editora**, p. 169-183, 2009.

MARTINEZ, C. B.; SOUZA, M. M. Acute effects of nitrite on ion regulation in two neotropical fish species. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 1, p. 151-160, 2002. ISSN 1095-6433.

MARZO, F.; TOSAR, A.; SANTIDRIAN, S. Effect of tannic acid on the immune response of growing chickens. **Journal of animal science**, v. 68, n. 10, p. 3306-3312, 1990. ISSN 0021-8812.

MASON, C. F. Organization of the Petroleum Exporting Countries. **The Wiley-Blackwell Encyclopedia of Globalization**, 2012. ISSN 0470670592.

MATOZO, F.; TUREK, J. A.; NOLETO, R. B. Avaliação dos efeitos genotóxicos do fungicida ridomil em *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes). **LUMINÁRIA**, v. 17, n. 01, 2015. ISSN 2359-4373.

MATSUI, Y. et al. Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*. **Biofouling**, v. 18, n. 2, p. 137-148, 2002. ISSN 0892-7014.

MATSUMURA, M. A case study of a pipe line burst in the Mihama Nuclear Power Plant. **Materials and Corrosion**, v. 57, n. 11, p. 872-882, 2006. ISSN 1521-4176.

MATTICE, J. **Interactions of Corbicula sp. with power plants**. Oak Ridge National Lab. 1977

MAXCLEAN, A. Q. S. A. **FICHA DE INFORMAÇÃO E SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO - MXD100: MAX CLEAN AMBIENTAL & QUÍMICA S/A**: 2 p. 2010.

MCDONNELL, G.; RUSSELL, A. D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. **Clinical microbiology reviews**, v. 12, n. 1, p. 147-179, 1999. ISSN 0893-8512.

MEHRARA, M. Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries. **Energy policy**, v. 35, n. 5, p. 2939-2945, 2007. ISSN 0301-4215.

MELNICK, R. L. et al. Trihalomethanes and Other Environmental Factors That Contribute to Colorectal Cancer. **Environmental Health Perspectives**, v. 102, n. 6-7, p. 586, 1994.

MENEGAKI, A. Valuation for renewable energy: a comparative review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 9, p. 2422-2437, 2008. ISSN 1364-0321.

MENYAH, K.; WOLDE-RUFAEL, Y. CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. **Energy Policy**, v. 38, n. 6, p. 2911-2915, 2010. ISSN 0301-4215.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, p. 99-110, 1994. ISSN 0102-311X.

MIDDAUGH, D. et al. Effect of thermal stress and total residual chlorination on early life stages of the mummichog *Fundulus heteroclitus*. **Marine Biology**, v. 46, n. 1, p. 1-8, 1978. ISSN 0025-3162.

MIYAMOTO, K.-I. et al. Induction of cytotoxicity of peritoneal exudate cells by agrimoniin, a novel immunomodulatory tannin of *Agrimonia pilosa* Ledeb. **Cancer Immunology, Immunotherapy**, v. 27, n. 1, p. 59-62, 1988. ISSN 0340-7004.

MIYAMOTO, K. et al. Relationship between the structures and the antitumor activities of tannins. **Chemical and pharmaceutical bulletin**, v. 35, n. 2, p. 814-822, 1987. ISSN 0009-2363.

MIZUNO, T. et al. Inhibitory effect of tannic acid sulfate and related sulfates on infectivity, cytopathic effect, and giant cell formation of human immunodeficiency virus. **Planta medica**, v. 58, n. 06, p. 535-539, 1992. ISSN 0032-0943.

MME, M. D. M. E. E. D. B. **Balanço Energético Nacional - Capacidade Instalada - Série Histórica**. Brasília: MME 2016a.

\_\_\_\_\_. **Energia na América do Sul**: Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia - SPE/MME: 4 p. 2016b.

MONTALTO, L. Control of *Limnoperna fortunei* fouling by desiccation. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.455-461.

MONTRESOR, L. C. MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.

\_\_\_\_\_. **Implicações ecotoxicológicas do controle químico de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae)**. 2014. 68 Tese (Doutor). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.

MOORE, M. A. Ontogeny of the hematopoietic system. In: (Ed.). **Handbook of Stem Cells (Second Edition)**: Elsevier, 2013. p.533-551.

MOORE, W. Fundamentals of chlorination of sewage and waste. **Water and Sewage Works**, v. 98, p. 130-136, 1951.

MOREIRA, J. R.; POOLE, A. D. Hydropower and its constraints. 1993.

MOTILVA, M. J. et al. Effect of extracts from bean (*phaseolus vulgaris*) and field bean (*vicia faba*) varieties on intestinal D-glucose transport in rat in vivo. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 34, n. 3, p. 239-246, 1983. ISSN 1097-0010.

MUKHTAR, H. et al. Exceptional activity of tannic acid among naturally occurring plant phenols in protecting against 7, 12-dimethylbenz (a) anthracene-, benzo (a) pyrene-, 3-methylcholanthrene-, and N-methyl-N-nitrosourea-induced skin tumorigenesis in mice. **Cancer research**, v. 48, n. 9, p. 2361-2365, 1988. ISSN 0008-5472.

MÜLLER, C. A. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. 1996.

MUNASINGHE, M. The sustainomics trans-disciplinary meta-framework for making development more sustainable: applications to energy issues. **International Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 1-2, p. 125-182, 2002. ISSN 0960-1406.

MUSTAPHA, M. K. Comparative Assessment of the Water Quality of Four Types of Aquaculture Ponds under Different Culture Systems. **Advanced Research in Life Sciences**, v. 1, n. 1, p. 104-110, 2017. ISSN 2543-8050.

NEHRIR, M. et al. A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications. **IEEE transactions on sustainable energy**, v. 2, n. 4, p. 392-403, 2011. ISSN 1949-3029.

NEUFAHRT, A. et al. Aspect of the environmental safety of distearyl dimethyl ammonium chloride (DSDMAC), 6th report. **Tracer studies on sewage sludge and carp**, 1978.

NISHIHARA, T.; OKAMOTO, T.; NISHIYAMA, N. Biodegradation of didecyldimethylammonium chloride by *Pseudomonas fluorescens* TN4 isolated from activated sludge. **Journal of Applied microbiology**, v. 88, n. 4, p. 641-647, 2000. ISSN 1365-2672.

NISHIYAMA, N.; NISHIHARA, T. Biodegradation of dodecyltrimethylammonium bromide by *Pseudomonas fluorescens* F7 and F2 isolated from activated sludge. **Microbes and environments**, v. 17, n. 4, p. 164-169, 2002. ISSN 1342-6311.

NORDHAUS, W. D.; HOUTHAKKER, H.; SOLOW, R. The allocation of energy resources. **Brookings papers on economic activity**, v. 1973, n. 3, p. 529-576, 1973. ISSN 0007-2303.

NORENBERG, M.; RAO, K. R.; JAYAKUMAR, A. Ammonia neurotoxicity and the mitochondrial permeability transition. **Journal of bioenergetics and biomembranes**, v. 36, n. 4, p. 303-307, 2004. ISSN 0145-479X.

NOYES, R. Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility. 1980.

NURSYAM, H.; ANDAYANI, S.; SAPUTRA, A. The effect of tannin from red betel (*Piper crocatum*) leaves towards blood biochemistry and histology of North African catfish (*Clarias gariepinus*). **AACL Bioflux**, v. 10, n. 5, p. 1386-1393, 2017. ISSN 1844-8143.

OH, S. et al. Microbial community degradation of widely used quaternary ammonium disinfectants. **Applied and environmental microbiology**, v. 80, n. 19, p. 5892-5900, 2014. ISSN 0099-2240.

OKUDA, T. et al. Effect of the interaction of tannins with coexisting substances. II. Reduction of heavy metal ions and solubilization of precipitates. **Yakugaku zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan**, v. 102, n. 8, p. 735, 1982. ISSN 0031-6903.

OLDANI, N. O.; BAIGÚN, C. R. Performance of a fishway system in a major South American dam on the Parana River (Argentina–Paraguay). **River Research and Applications**, v. 18, n. 2, p. 171-183, 2002. ISSN 1535-1467.

OLIVEIRA, M. D. et al. Colonization and spread of *Limnoperna fortunei* in South America. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015. p.333-355.

ORHON, D.; BABUNA, F. G.; KARAHAN, O. **Industrial wastewater treatment by activated sludge**. IWA Publishing, 2009. ISBN 1843391449.

ORSI, M. L.; CARVALHO, E. D.; FORESTI, F. Biologia populacional de *Astyanax altiparanae* Garutti & Britski (Teleostei, Characidae) do médio rio Paranapanema, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, p. 207-218, 2004. ISSN 0101-8175.

OSTRENSKY, A. et al. Monitoramento ictiofaunístico pósderramamento de óleo nos Rios Barigüí e Iguaçu. **Un-Repar/Petrobrás**, v. 2, p. 32-52, 2001.

PANWAR, N.; KAUSHIK, S.; KOTHARI, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1513-1524, 2011. ISSN 1364-0321.



PANYAKAPO, M.; SOONTORNCHAI, S.; PAOPUREE, P. Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 3, p. 372-378, 2008. ISSN 1001-0742.

PARRA, J. E. G.; BALDISSEROTTO, B. Effect of water pH and hardness on survival and growth of freshwater teleosts. **Fish osmoregulation. Science Publishers, New Hampshire**, p. 135-150, 2007.

PASTORINO, G. et al. **Limnoperna fortunei (Dunker, 1857)(Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata**. 1993

PATEL, A. D. Design and development of quaternary amine compounds: shale inhibition with improved environmental profile. SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2009, Society of Petroleum Engineers.

PATRAUCHAN, M.; ORIEL, P. Degradation of benzyldimethylalkylammonium chloride by *Aeromonas hydrophila* sp. K. **Journal of applied microbiology**, v. 94, n. 2, p. 266-272, 2003. ISSN 1365-2672.

PEJCHAR, L.; MOONEY, H. A. Invasive species, ecosystem services and human well-being. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 9, p. 497-504, 2009/09/01/2009. ISSN 0169-5347. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534709001761> >.

PENAFORTE, L. R. **INVASÃO DO MEXILHÃO DOURADO, LIMNOPERNA FORTUNEI (DUNKER, 1857): IMPACTOS, MÉTODOS DE CONTROLE E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO ADOTADAS**. 2014. 65 Monografia (Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos). INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PEREIRA, M. A. et al. Trihalomethanes as initiators and promoters of carcinogenesis. **Environmental health perspectives**, v. 46, p. 151, 1982.

PEREPELIZIN, P. V.; BOLTOVSKOY, D. Control of *Limnoperna fortunei* Fouling by oxygen deprivation. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015a. p.451-454.

\_\_\_\_\_. Control of *Limnoperna fortunei* fouling by thermal treatments. In: (Ed.). **Limnoperna Fortunei**: Springer, 2015b. p.443-449.

PÉREZ, P.; FERNÁNDEZ, E.; BEIRAS, R. Toxicity of benzalkonium chloride on monoalgal cultures and natural assemblages of marine phytoplankton. **Water, air, and soil pollution**, v. 201, n. 1-4, p. 319-330, 2009. ISSN 0049-6979.

PERRY, S.; GOSS, G. The effects of experimentally altered gill chloride cell surface area on acid-base regulation in rainbow trout during metabolic alkalosis.

**Journal of Comparative Physiology B**, v. 164, n. 4, p. 327-336, 1994. ISSN 0174-1578.

PESSOTTO, M.; NOGUEIRA, M. More than two decades after the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) in La Plata Basin. **Brazilian Journal of Biology**, n. AHEAD, p. 0-0, 2018. ISSN 1519-6984.

PESTANA, D. et al. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)**, v. 50, p. 553-559, 2010a. ISSN 0031-1049. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso) >.

\_\_\_\_\_. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) nos principais corpos hídricos do estado do Paraná, Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 50, p. 553-559, 2010b. ISSN 0031-1049. Disponível em: <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492010003400001&nrm=iso) >.

PETERSON, C. H. et al. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. **Science**, v. 302, n. 5653, p. 2082-2086, 2003. ISSN 0036-8075.

PIANCINI, L. D. S. Biomonitoramento do rio iguaçu em dois pontos utilizando como bioindicador peixes do gênero *Astyanax* (Characiforme, Characidae). 2013.

PIMENTEL, D.; ZUNIGA, R.; MORRISON, D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. **Ecological Economics**, v. 52, n. 3, p. 273-288, 2005/02/15/ 2005. ISSN 0921-8009. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904003027> >.

PLEVIN, R. J.; DELUCCHI, M. A.; O'HARE, M. Fuel carbon intensity standards may not mitigate climate change. **Energy Policy**, v. 105, p. 93-97, 2017. ISSN 0301-4215.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**, v. 2, p. 101-116, 2005.

PYLE, E. A. Neutralizing chlorine in city water for use in fish-distribution tank. **The Progressive Fish-Culturist**, v. 22, n. 1, p. 30-33, 1960. ISSN 0033-0779.

QUASCHNING, V. **Understanding renewable energy systems**. Routledge, 2016. ISBN 1317669436.



RAJAGOPAL, S. et al. Greening of the coasts: a review of the *Perna viridis* success story. **Aquatic Ecology**, v. 40, n. 3, p. 273-297, 2006. ISSN 1386-2588.

RAMANATHAN, R.; TAN, C. H.; DAS, N. P. Tannic acid promotes benzo[a]pyrene-induced mouse skin carcinogenesis at low concentrations. **Medical Science Research**, v. 20, n. 19, p. 711-712, 1992. Disponível em: < <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026658845&partnerID=40&md5=0965b59ed8fff6c0560211429a3e8f75> >.

RAMSDORF, W. Utilização de duas espécies de *Astyanax* (*Astyanax* sp B e A. *Altiparanae*) como bioindicadores de região contaminada por agrotóxico (Fazenda Canguiri-UFPR). 2007.

RANDALL, D.; TSUI, T. Ammonia toxicity in fish. **Marine pollution bulletin**, v. 45, n. 1-12, p. 17-23, 2002. ISSN 0025-326X.

RANDALL, D. et al. Urea excretion as a strategy for survival in a fish living in a very alkaline environment. **Nature**, v. 337, n. 6203, p. 165, 1989. ISSN 1476-4687.

RASHAD, S.; HAMMAD, F. Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. **Applied Energy**, v. 65, n. 1-4, p. 211-229, 2000. ISSN 0306-2619.

RESCAN, P. Muscle growth patterns and regulation during fish ontogeny. **General and comparative endocrinology**, v. 142, n. 1-2, p. 111-116, 2005. ISSN 0016-6480.

RICCIARDI, A. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. **Biofouling**, v. 13, n. 2, p. 97-106, 1998. ISSN 0892-7014.

RICHTEROVA, Z. et al. Effects of a cypermethrin-based pesticide on early life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Veterinarni Medicina**, v. 60, n. 8, 2015. ISSN 0375-8427.

RICHTLER, H.; KNAUT, J. World prospects for surfactants. **Parfümerie und Kosmetik**, v. 70, n. 1, 1989. ISSN 0031-1952.

ROMBOUT, J. et al. Phylogeny and ontogeny of fish leucocytes. **Fish & shellfish immunology**, v. 19, n. 5, p. 441-455, 2005. ISSN 1050-4648.

ROSEBOOM, D. P.; RICHEY, D. **Acute toxicity of residual chlorine and ammonia to some native Illinois fishes**. Illinois State Water Survey. 1977

ROSS, M. L. **The oil curse: how petroleum wealth shapes the development of nations**. Princeton University Press, 2012. ISBN 1400841925.

ROSSIN, A.; BUSO, S. Desinfecção. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, v. 2, 1987.

SAHA, N.; KAVIRAJ, A. Acute and chronic toxicity of tannic acid and spent bark of cinchona to tilapia *Oreochromis mossambicus*. **Aquaculture**, v. 145, n. 1-4, p. 119-127, 1996. ISSN 0044-8486.

SAHA, N. et al. Effect of alkalinity (pH 10) on ureogenesis in the air-breathing walking catfish, *Clarias batrachus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, n. 2, p. 353-364, 2002. ISSN 1095-6433.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. **Dietary tannins: consequences and remedies**. CRC Press, 1989. ISBN 0849368111.

SÁNCHEZ-FORTÚN, S. et al. Inhibition of growth and photosynthesis of selected green microalgae as tools to evaluate toxicity of dodecylethyldimethyl-ammonium bromide. **Ecotoxicology**, v. 17, n. 4, p. 229-234, 2008. ISSN 0963-9292.

SANDERSON, L. et al. Inhibition of glutamine synthetase during ammonia exposure in rainbow trout indicates a high reserve capacity to prevent brain ammonia toxicity. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 13, p. 2343-2353, 2010. ISSN 0022-0949.

SANTOS, C. L. D. **Controle de trihalometanos (THM) nas águas de abastecimento público**. 1988. Universidade de Sao Paulo. Faculdade de Saúde Pública

SANTOS, D. C. M. D. Toxidez aguda do zinco em lambaris *Astyanax aff. bimaculatus* (Linnaeus, 1758). 2009.

SARKAR, B. et al. Toxicity of organoclays to microbial processes and earthworm survival in soils. **Journal of hazardous materials**, v. 261, p. 793-800, 2013. ISSN 0304-3894.

SARKAR, B. et al. Sorption of quaternary ammonium compounds in soils: implications to the soil microbial activities. **Journal of hazardous materials**, v. 184, n. 1-3, p. 448-456, 2010. ISSN 0304-3894.

SCALBERT, A. Antimicrobial properties of tannins. **Phytochemistry**, v. 30, n. 12, p. 3875-3883, 1991. ISSN 0031-9422.

SERRANO, J. et al. Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. **Molecular nutrition & food research**, v. 53, n. S2, 2009. ISSN 1613-4133.

SFAKIANAKIS, D. G. et al. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. **Environmental Research**, v. 137, p. 246-255, 2015/02/01/ 2015. ISSN

0013-9351. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114004654> >.

SILVEIRA, D. R. Avaliação da toxicidade do cloro livre em bactérias desnitrificantes e nitrificantes. 2014.

SOLANGI, K. H. et al. A review on global solar energy policy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 4, p. 2149-2163, 2011/05/01/ 2011. ISSN 1364-0321. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000220> >.

SOUZA, R. D. Q. **Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de usinas hidrelétricas**. 2008. 226 Dissertação (Mestre). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília - DF.

SPRAGUE, J. B.; DRURY, D. E. Avoidance reactions of salmonid fish to representative pollutants. **Advances in water pollution research**, v. 1, p. 169-179, 1969.

STICKNEY, R. R. **Principles of aquaculture**. John Wiley and Sons, Inc., 1994. ISBN 0471578568.

STONE, N. M.; THOMFORDE, H. K. **Understanding your fish pond water analysis report**. Cooperative Extension Program, University of Arkansas at Pine Bluff, US Department of Agriculture and county governments cooperating, 2004.

SUMMERFELT, S. T.; VINCI, B.; PIEDRAHITA, R. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. **Aquacultural engineering**, v. 22, n. 1-2, p. 87-108, 2000. ISSN 0144-8609.

SÜTTERLIN, H. et al. Mixtures of quaternary ammonium compounds and anionic organic compounds in the aquatic environment: elimination and biodegradability in the closed bottle test monitored by LC–MS/MS. **Chemosphere**, v. 72, n. 3, p. 479-484, 2008. ISSN 0045-6535.

SÜTTERLIN, H.; ALEX, R.; KÜMMERER, K. The toxicity of the quaternary ammonium compound benzalkonium chloride alone and in mixtures with other anionic compounds to bacteria in test systems with *Vibrio fischeri* and *Pseudomonas putida*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 71, n. 2, p. 498-505, 2008. ISSN 0147-6513.

SZARGUT, J. Minimization of consumption of natural-resources. **BULLETIN DE L ACADEMIE POLONAISE DES SCIENCES-SERIE DES SCIENCES TECHNIQUES**, v. 26, n. 6, p. 41-45, 1978. ISSN 0001-4125.

TAINTER, J. **The collapse of complex societies**. Cambridge University Press, 1988. ISBN 052138673X.

TAKENAKA, S. et al. Adaptation of *Pseudomonas* sp. strain 7-6 to quaternary ammonium compounds and their degradation via dual pathways. **Applied and environmental microbiology**, v. 73, n. 6, p. 1797-1802, 2007. ISSN 0099-2240.

TEH, S. J. et al. Lethal and sublethal toxicity of didecyldimethylammonium chloride in early life stages of white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 22, n. 9, p. 2152-2158, 2003. ISSN 1552-8618.

TEMMINK, J. et al. Acute and sub-acute toxicity of bark tannins in carp (*Cyprinus carpio* L.). **Water Research**, v. 23, n. 3, p. 341-344, 1989. ISSN 0043-1354.

TEN HULSCHER, T. E.; CORNELISSEN, G. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants-a review. **Chemosphere**, v. 32, n. 4, p. 609-626, 1996. ISSN 0045-6535.

TERZIC, S.; AHEL, M. Nontarget analysis of polar contaminants in freshwater sediments influenced by pharmaceutical industry using ultra-high-pressure liquid chromatography–quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **Environmental pollution**, v. 159, n. 2, p. 557-566, 2011. ISSN 0269-7491.

TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S. G. Role of quaternary ammonium compounds on antimicrobial resistance in the environment. **Antimicrobial resistance in the environment**, p. 349-387, 2011.

\_\_\_\_\_. Quaternary ammonium disinfectants: microbial adaptation, degradation and ecology. **Current opinion in biotechnology**, v. 33, p. 296-304, 2015. ISSN 0958-1669.

THOMAS, S. et al. Metabolic alkalosis and the response of the trout, *Salmo fario*, to acute severe hypoxia. **Respiration physiology**, v. 87, n. 1, p. 91-104, 1992. ISSN 0034-5687.

THOMPSON, W. A.; RODELA, T. M.; RICHARDS, J. G. The effects of strain and ploidy on the physiological responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to pH 9.5 exposure. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 183, p. 22-29, 2015. ISSN 1096-4959.

TSAI, P.-C.; DING, W.-H. Determination of alkyltrimethylammonium surfactants in hair conditioners and fabric softeners by gas chromatography–mass spectrometry with electron-impact and chemical ionization. **Journal of Chromatography A**, v. 1027, n. 1-2, p. 103-108, 2004. ISSN 0021-9673.

TWIDELL, J.; WEIR, T. **Renewable energy resources**. Routledge, 2015. ISBN 1317660374.

UBILLAS, R. et al. SP-303, an antiviral oligomeric proanthocyanidin from the latex of *Croton lechleri* (Sangre de Drago). **Phytomedicine**, v. 1, n. 2, p. 77-106, 1994. ISSN 0944-7113.

VAN BREMEM, J. Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE. **International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.(Mimeo.)**, 1984.

VAN WIJK, D. et al. Bioavailability and detoxification of cationics: I. Algal toxicity of alkyltrimethyl ammonium salts in the presence of suspended sediment and humic acid. **Chemosphere**, v. 75, n. 3, p. 303-309, 2009. ISSN 0045-6535.

VARADARAJAN, R. et al. Sublethal effects of phenolic compounds on biochemical, histological and ionoregulatory parameters in a tropical teleost fish *Oreochromis mossambicus* (Peters). **Int J Sci Res Pub**, v. 4, n. 3, p. 1-12, 2014.

VARSAMOS, S.; NEBEL, C.; CHARMANTIER, G. Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: a review. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 141, n. 4, p. 401-429, 2005. ISSN 1095-6433.

WÄLDE, T. W. Organization of the Petroleum Exporting Countries. In: (Ed.). **Handbook of Transnational Economic Governance Regimes**: Brill, 2009. p.989-1008.

WESSELS, S.; INGMER, H. Modes of action of three disinfectant active substances: a review. **Regulatory toxicology and pharmacology**, v. 67, n. 3, p. 456-467, 2013. ISSN 0273-2300.

WHITE, H. K. et al. Impact of the Deepwater Horizon oil spill on a deep-water coral community in the Gulf of Mexico. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 50, p. 20303-20308, 2012. ISSN 0027-8424.

WHO, W. H. O. **Guidelines for drinking-water quality: recommendations**. World Health Organization, 2004. ISBN 9241546387.

WILKIE, M. P.; WOOD, C. M. Nitrogenous Waste Excretion, Acid-Base Regulation, and Ionoregulation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Exposed to Extremely Alkaline Water. **Physiological Zoology**, v. 64, n. 4, p. 1069-1086, 1991. ISSN 0031-935X.

\_\_\_\_\_. Recovery from high pH exposure in the rainbow trout: white muscle ammonia storage, ammonia washout, and the restoration of blood chemistry. **Physiological zoology**, v. 68, n. 3, p. 379-401, 1995. ISSN 0031-935X.

\_\_\_\_\_. The adaptations of fish to extremely alkaline environments. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 113, n. 4, p. 665-673, 1996. ISSN 1096-4959.

WILKIE, M. P. et al. The physiological responses of the Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*), a resident of highly alkaline Pyramid Lake (pH 9.4), to challenge at pH 10. **Journal of Experimental Biology**, v. 175, n. 1, p. 173-194, 1993. ISSN 0022-0949.

WILKIE, P. M. **The physiological adaptations of two salmonids, the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the high pH tolerant Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*), to highly alkaline environments.** 1994.

WOLF-GLADROW, D. A. et al. Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes. **Marine Chemistry**, v. 106, n. 1-2, p. 287-300, 2007. ISSN 0304-4203.

WONG, S. et al. Biological properties of sodium alkyl methyl ester sulfonate/alkyltrimethylammonium bromide surfactant mixtures. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 89, p. 48-52, 2012. ISSN 0927-7765.

WOOD, A. J.; WOLLENBERG, B. F. **Power generation, operation, and control.** John Wiley & Sons, 2012. ISBN 111858595X.

WOOD, C. et al. Ammonia and urea dynamics in the Lake Magadi tilapia, a ureotelic teleost fish adapted to an extremely alkaline environment. **Respiration physiology**, v. 77, n. 1, p. 1-20, 1989. ISSN 0034-5687.

WRIGHT, P. A. Nitrogen excretion and enzyme pathways for ureagenesis in freshwater tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Physiological zoology**, v. 66, n. 6, p. 881-901, 1993. ISSN 0031-935X.

WRIGHT, P. A.; IWAMA, G. K.; WOOD, C. M. Ammonia and urea excretion in Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*) adapted to the highly alkaline Pyramid Lake (pH 9.4). **Journal of Experimental Biology**, v. 175, n. 1, p. 153-172, 1993. ISSN 0022-0949.

WURTS, W. A.; DURBOROW, R. M. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. 1992.

XU, M. et al. Experimental study on control of *Limnoperna fortunei* biofouling in water transfer tunnels. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 9, n. 2, p. 248-258, 2015. ISSN 1570-6443.

XU, S.; BOYD, S. A. Cationic surfactant sorption to a vermiculitic subsoil via hydrophobic bonding. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 2, p. 312-320, 1995. ISSN 0013-936X.



YESAKI, T. Y.; IWAMA, G. K. Survival, acid-base regulation, ion regulation, and ammonia excretion in rainbow trout in highly alkaline hard water. **Physiological Zoology**, v. 65, n. 4, p. 763-787, 1992. ISSN 0031-935X.

YU, C.-L.; SWAMINATHAN, B. Mutagenicity of proanthocyanidins. **Food and chemical toxicology**, v. 25, n. 2, p. 135-139, 1987. ISSN 0278-6915.

YU, F. et al. Subcellular distribution of fluoranthene in *Chlorella vulgaris* with the presence of cetyltrimethylammonium chloride. **Chemosphere**, v. 90, n. 3, p. 929-935, 2013. ISSN 0045-6535.

ZAIONS, M. I.; BALDISSEROTTO, B. Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> body levels and survival of fingerlings of *Rhamdia quelen* (Siluriformes, Pimelodidae) exposed to acute changes of water pH. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 1041-1045, 2000. ISSN 0103-8478.

ZAPATA, A. et al. Ontogeny of the immune system of fish. **Fish & shellfish immunology**, v. 20, n. 2, p. 126-136, 2006. ISSN 1050-4648.

ZHANG, C. et al. Experimental study on the effect of turbulence in pipelines on the mortality of *Limnoperna fortunei* veligers. **Ecological Engineering**, v. 109, p. 101-118, 2017. ISSN 0925-8574.

ZHAO, Y. et al. Comparative developmental toxicity of eight typical organic pollutants to red sea bream (*Pagrosomus major*) embryos and larvae. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 10, p. 9067-9078, April 01 2017. ISSN 1614-7499. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6282-4> >.

ZINCHENKO, A. A. et al. DNA compaction by divalent cations: structural specificity revealed by the potentiality of designed quaternary diammonium salts. **ChemBioChem**, v. 5, n. 3, p. 360-368, 2004. ISSN 1439-7633.